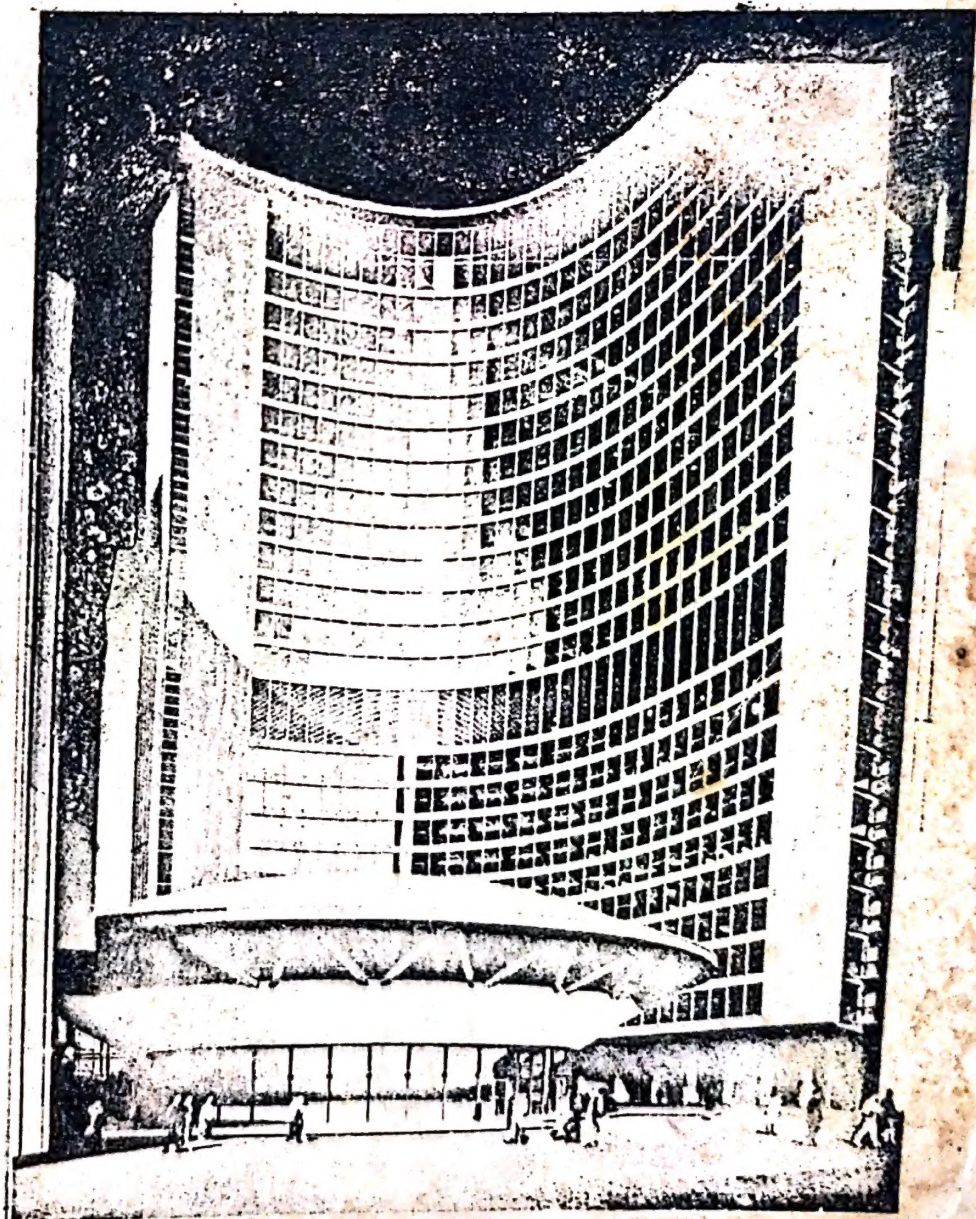


PROF. DR. ING. VIRGIL FOCȘA

# higrotermica și acustica cladirilor

INSTITUTUL  
POLITEHNIC  
IASI  
FACULTATEA  
DE  
CONSTRUCTII

1970





**I N S T I T U T U L P O L I T E H N I C I A S I**  
**FACULTATEA DE CONSTRUCTII**

**Prof.Dr.Ing.Virgil Focşa**

**HIGROTHERMICA**  
**şi**  
**ACUSTICA CLADIRILOR**

**Ediţia a II-a**

**Uz intern**  
**- 1970 -**



## INTRODUCERE

Dezvoltarea construcțiilor în etapa actuală este caracterizată prin folosirea unor materiale de construcție și sisteme constructive noi, puse în operă prin metode industriale. Extinderea betonului monolit și prefabricat la construcții de clădiri, folosirea pe scară din ce în ce mai largă a materialelor ușoare, de natură minerală sau organică, în structuri de elemente în mai multe straturi, fac ca proprietățile și comportarea higrotermică a clădirilor să fie esențiale pentru exploatarea normală a construcțiilor.

În același timp asistăm la creșterea considerabilă a nivelului zgomotului, ca efect al mecanizării, industrializării și dotării clădirilor cu instalații și aparatură de mare turanță. Pe de o parte are loc creșterea zgomotului exterior, iar pe de altă parte noile structuri ale clădirilor, prin continuitatea și masa redusă a elementelor de construcție favorizează transmiterea zgomotului în încăperi.

Cunoașterea bazelor teoretice ale problemelor de higrotermică și acustică și aplicarea lor în practica construcțiilor este o cerință de mare actualitate pentru pregătirea profesională de larg orizont a viitorilor constructori.

Lucrarea de față cuprinzând capitole ale cursului de



Clădiri civile, predat la Secția de Construcții civile, industriale și agricole de la Facultatea de Construcții din Iași, dezvoltate în cadrul cursului facultativ Higrotermica și Acustica clădirilor, sintetizează aspectele teoretice și practice ale fizicii construcțiilor cu aplicații importante în proiectarea și exploatarea clădirilor.

Ediția a II-a a acestei lucrări este revăzută și adăugită cu aspecte și probleme noi privind comportarea termică a construcțiilor, bazele teoretice ale acusticii construcțiilor, principiile și măsurile de izolare acustică a clădirilor și orașelor.

În capitolul Higrotermica s-a introdus noțiunea de coeficient de transfer volumic a căldurii, s-au dezvoltat probleme termice în condiții de vară, la pereți, terase și ferestre, analizându-se comportarea termică a clădirilor în regim permanent și variabil. Acțiunea radiației solare este analizată din punct de vedere al confortului termic și al eforturilor din acțiunea temperaturii.

În capitolul Acustica s-a dezvoltat teoria cîmpului sonor, s-a introdus teoria ecranelor privind izolarea acustică la elementele de construcție la zgomotul aerian, capacitatea de izolare acustică a tîmplăriei și s-a completat cu aspecte noi privind acustica sălilor și structuri fonoabsorbante.

În noua formă lucrarea poate fi utilă nu numai studenților secției de Construcții civile și industriale, dar și absolvenților și doctoranzilor în specialitatea Clădiri civile.

Iași, martie 1970



## Capitolul I

### HIGROTERMICA

#### 4. Cerințele fiziologice ale omului și confortul termic la clădiri.

Prin destinația lor clădirile de locuit și social-culturale trebuie să satisfacă cerințele de viață ale omului și în special protecția contra agenților climatici: vânt, ploate, zăpadă, radiația solară [2,11]. Cele mai importante condiții fiziologice ale clădirilor după Dr. Daniel Bianconi, sunt legate de dualismul zilnic al vieții omenescii: catabolism-anabolism.

Activitatea generală a omului constă dintr-o perioadă de activitate, urmată de o perioadă de odihnă-repaus. În perioada de activitate a omului are loc catabolismul, care se caracterizează prin consumarea rezervelor de energie, iar organismul omenesc acumulează substanțe vătămătoare care produc tulburări ce pot fi micșorate prin asigurarea corespunzătoare a mediului de lucru. Aceste cerințe determină condițiile fiziologice în clădirile de producție, în clădirile social-culturale, administrative, etc.

În perioada de repaus-odihnă are loc fenomenul de anabolism ce se caracterizează prin aceea că organismul elimină



substanțele nefolositoare acumulând energie potențială. Procesul de anabolism este influențat de catabolism și de condițiile de mediu care sînt determinate de caracteristicile higrotermice ale elementelor de construcție și de condițiile de climat interior și exterior.

La asigurarea condițiilor de mediu pentru desfășurarea activității de producție sau pentru odihna omului, se au în vedere cerințele de confort determinate în primul rînd de ansamblul condițiilor de temperatură și umiditate care caracterizează climatul interior al încăperilor.

După Liese confortul este „expresia armonică dintre om și mediul înconjurător, dintre om și clima înconjurătoare”. Premiza biofizică a senzației de confort rezidă în realizarea ecuației de echilibru: „Suma căldurii produsă de corp și a căldurii introdusă din afară să fie egală cu suma căldurii cedată de corp și a căldurii consumată intern”.

În graficul din fig.1 este indicat criteriul de confort după Bedford și Liese, avînd în vedere temperatura aerului (d), temperatura aerului interior (e) și temperatura suprafeței interioare a peretelui exterior (a). Valoarea medie a temperaturii aerului interior poate fi cuprinsă în funcție de temperatura aerului exterior și temperatura peretelui, între 17 și 24°C. În prescripțiile din țara noastră se recomandă de exemplu, ca în general temperatura aerului interior, la clădirile civile, să prezinte valorile limită 20± (1,5... 3)°C.

Trebuie avut în vedere faptul că omul nu dorește contraste de temperatură care influențează negativ sănătatea, chiar în cazul cînd variațiile climatului nu afectează domeniul senzațiilor perceptibile.

Asigurarea sănătății, definită de organizația mondială a sănătății ca stare de senzație de bună stare totală trupească.



că, spirituală și socială, capătă o semnificație deosebit de importantă în condițiile socialismului și se reflectă în grija permanentă față de om și de cerințele sale prin proiectarea judicioasă a clădirilor și construcțiilor din punct de vedere higrotermic.

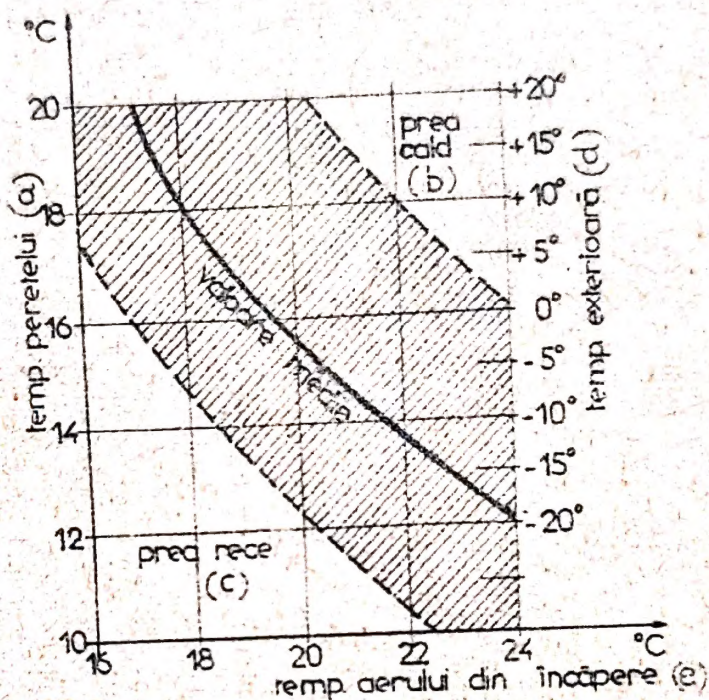


Fig. 1. Criteriul de confort după BEDFORD și LIESE

- a) = temperatura peretelui;
- b) = prea cald;
- c) = prea rece;
- d) = temp. ext. la o temperatură a camerei de 20°C;
- e) = temp. aerului din încăperea.

În cadrul capitolului de Higrotermică se vor studia bazele fizice ale izolației termice, a umidității în construcții și a permeabilității la aer a construcțiilor, probleme de o deosebită actualitate la proiectarea, executarea și exploatarea clădirilor cu noi materiale și sisteme constructive.



## B. Transmisia căldurii.

### 1. Generalități.

Determinarea caracteristicilor higrotermice a elementelor de construcție și studiul termic a construcțiilor are la bază schimbul de căldură între elemente de temperaturi diferite, între clădiri și mediul înconjurător. Prin noțiunea de temperatură se apreciază starea de încălzire a corpurilor. În orice mediu, temperatura într-un punct, la un moment dat  $T$ , are o valoare unică și bine definită. Temperatura este un parametru scalar de stare, depinzând de  $T$ , putându-se exprima în forma implicită  $t = f(x, y, z, T)$  sau vectorial  $\vec{t} = f(\vec{r}, T)$  în care,  $\vec{r} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$  reprezintă vectorul de poziție al punctului considerat.

Totalitatea punctelor de aceeași temperatură a unui corp, la un moment dat, definește suprafața izotermă de temperatură  $t$ . Dacă temperatura corpului  $t$  nu variază cu timpul,  $t(T) = \text{const.}$ , suprafețele izoterme prezintă în orice moment valori constante și caracterizează regimul staționar de temperatură. În acest caz fluxul termic este constant și câmpul termic ce caracterizează valoarea temperaturii în corp este constant. În realitate, datorită variației de temperatură a mediului înconjurător are loc și variația temperaturii elementelor de construcție și a construcțiilor în general. Luarea în considerare a variației temperaturii în timp caracterizează regimul termic nestaționar sau variabil.

Structurile clasice de pereți și acoperișuri, caracterizate prin masă mare și alcătuire omogenă, au permis studiul termic pe baza ipotezei regimului staționar. Folosirea materialelor de masă redusă la noile structuri, adoptarea unei alcătuirii neomogene a elementelor de construcție, face actuală și



ipoteza regimului nestaționar de temperatură. La structurile omogene sau alcătuite din mai multe straturi paralele luarea în considerare a transmisiei termice după o direcție este cuprinzătoare. La structurile neomogene, cum este cazul pereților din beton armat cu mai multe straturi și legături sau punți transversale este necesar a se lua în considerare transmisia plană a căldurii.

### 1.1. Modurile de transmisie a căldurii.

În construcții, ca și în natură în general, transmisia căldurii are loc prin conducție, convecție și radiație [2, 3, 12].

Transmisia căldurii prin conducție este proprie în special corpului solid, are loc prin pereți, terase, tâmplărie și constă din transmisia energiei cinetice a moleculelor ce vibrează în jurul poziției lor de echilibru.

Transmisia termică prin convecție are loc în special la lichide și gaze și se datorește transportului de căldură prin mișcarea moleculelor fluidelor. Fenomenul intervine în construcții între suprafețele elementelor de construcție la interior sau exterior și aerul sau lichidul înconjurător.

Transmisia energiei termice prin radiație are loc sub formă de unde electromagnetice, cu lungimile de undă  $\lambda = (0,4 \dots 400) \mu$ . Fenomenul de radiație intervine în special la diferențe mari de temperatură între corpuri sau între corpuri și fluide, cum este cazul elementelor de încălzire prin radiație.

În ce privește elementele de construcție, ținând seama de influența porozității, transmisia căldurii prin structura solidă are loc în special prin conducție și în mai mică măsură prin convecție. Între elementele de construcție și aerul



Înconjurător transmisia căldurii are loc în primul rând prin convecție, ce poate fi naturală sau forțată și în mai mică măsură prin radiație. Cantitativ, transmisia căldurii între elementele de construcție și mediul înconjurător se ia în considerare printr-un coeficient unic ce exprimă cumulativ fenomenele de convecție și radiație.

1.1.1. Transmisia căldurii prin conducție. Coeficientul de conductivitate termică a materialelor de construcție.

La structuri omogene, în cazul transmisiei termice prin conducție în regim staționar, fig.2, cantitatea totală de căldură transmisă se estimează cu relația:

$$Q = \lambda \cdot \frac{S(\tau_i - \tau_e)}{d} \cdot T \quad (1)$$

în care:

- Q cantitatea totală de căldură transmisă, în Kcal sau J ;
- $\lambda$  coeficientul de conductivitate termică al materialului, în Kcal/m.h.<sup>°C</sup> sau W/m.<sup>°C</sup> ;
- S suprafața elementului omogen de construcție, în m<sup>2</sup> ;
- $\tau_i, \tau_e$  temperaturile suprafețelor interioare și respectiv exterioare ale elementului de construcție, în <sup>°C</sup> ;
- d, grosimea elementului de construcție, în m ;
- T, timpul, în ore.

Dacă în relația ( 1 ) se consideră: S = 1 m<sup>2</sup> ;

$\tau_i - \tau_e = 1^{\circ}\text{C}$  ; d = 1m și T = 1 h se obține:

$$Q = \lambda \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C sau W/m.}^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Relațiile permițind trecerea de la unități tradiționale la unități SI sînt următoarele: 1J = 0,2389.10<sup>-3</sup> Kcal;



1 Kcal = 4186 J ; 1 W = 0,860 Kcal/h ; 1 Kcal/h = 1,163 W

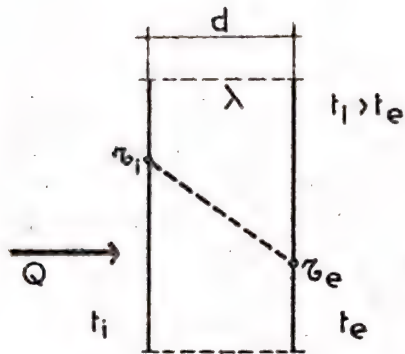


Fig.2. Transmisia căldurii prin conducție la element omogen de construcție.

Coefficientul de conductivitate termică  $\lambda$  exprimat în Kcal/m.h. $^{\circ}$ C, este o caracteristică termofizică a materialelor de construcție și reprezintă cantitatea de căldură ce trece de la o față la cealaltă față a unui element de construcție, printr-o suprafață de 1 m $^2$ , grosimea elementului fiind de 1 m, în timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două suprafețe de 1 $^{\circ}$ C.

Pentru materiale cu porozitatea tinzând spre zero, coeficientul  $\lambda$  prezintă valorile:

- materiale organice...  $\lambda = 0,25 \dots 0,35$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C;
- materiale anorganice..  $\lambda = 2,80$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C;
- materiale cristaline..  $\lambda = 4,6 \dots 6,0$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C;
- materiale de construcție,  $\lambda = 0,035 \dots 3,0$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C
- aer.....  $\lambda = 0,02 \dots$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C .  
(0,0234 W/m. $^{\circ}$ C );
- apă.....  $\lambda = 0,50 \dots$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C .  
(0,57 W/m. $^{\circ}$ C).

În R.S. România se fabrică la Berceni materiale izo-lante termic de eficiență superioară sub formă de pîslă din vată minerală de lățime 0,60 m sau 1,20 m, grosimi  $\delta = 1 - 10$  cm,  $\rho = 50 \dots 60$  Kg/m $^3$ ,  $\lambda = 0,034$  Kcal/m.h. $^{\circ}$ C și fășii din vată minerală de 3...5 m lungime,  $\rho = 40 \dots 60$  Kg/m $^3$  și  $\lambda = 0,033$  Kcal/



/m.h.<sup>°C</sup>.

Valoarea coeficientului  $\lambda$  variază în general în limite foarte largi, de la 300 pînă la 0,03 Kcal/m.h.<sup>°C</sup>.

Valorile coeficientului de conductivitate termică depind de factorii menționați mai jos:

a) Densitatea unitară aparentă  $\rho$  și porozitatea  $p$  a materialului și anume crește cu densitatea și scade cu porozitatea, așa cum rezultă din figurile 3 și 4 pentru materiale anorganice și organice; conductivitatea termică crește cu diametrul porilor și temperatura așa cum rezultă din figura 5.

b) Structura fizică în cazul materialelor coezive și gradul de afinare și mărimea granulelor la materiale pulverulente.

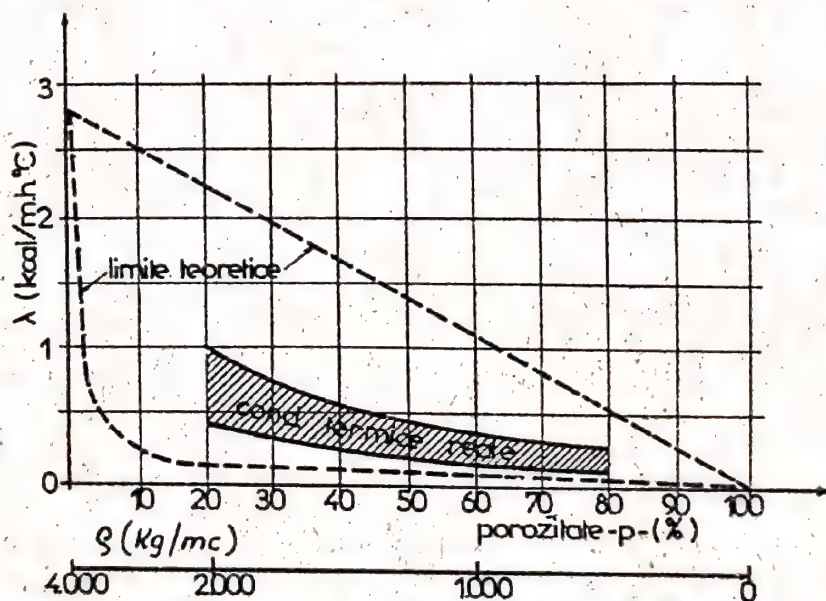


Fig. 3. Variația conductivității termice, la materiale anorganice, în funcție de  $\rho$  și porozitate  $p$  %

c) Umiditatea ce caracterizează conținutul în apă al materialelor. Creșterea conductivității termice cu creșterea conținutului de apă se explică prin aceea că aerul din pori mate-



rialelor, cu  $\lambda_{\text{aer}} = 0,02 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ , este înlocuit cu apă  $\lambda_a = 0,5 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ , de 25 ori mai mare decât a aerului.

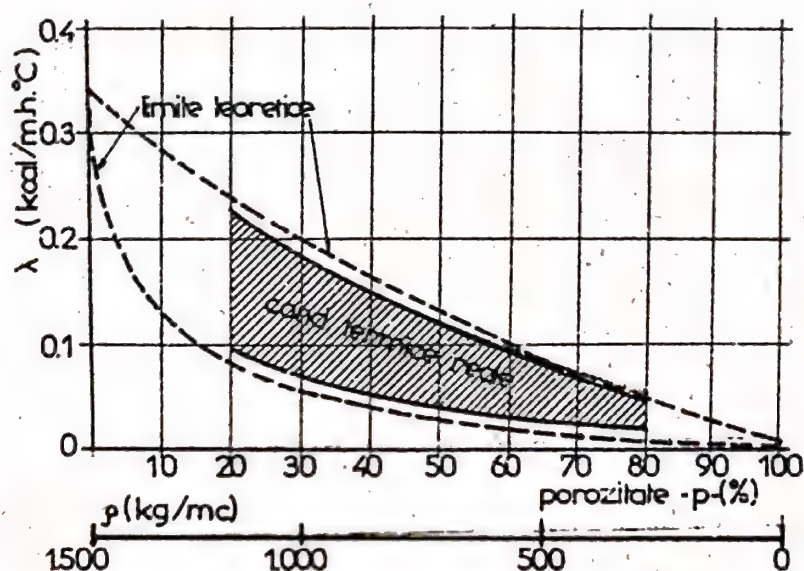


Fig.4. Variația conductivității termice, la materialele organice, în funcție de  $\rho$  și porozitate.

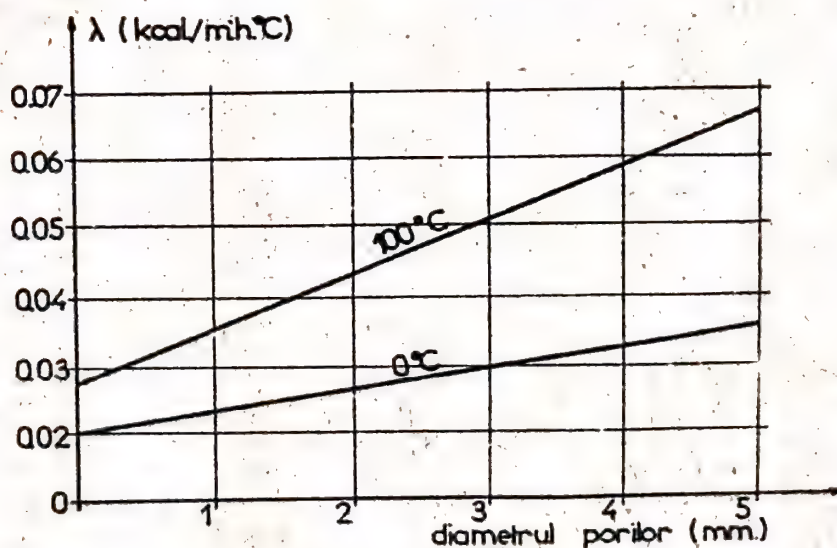


Fig.5. Variația conductivității termice a aerului în funcție de dimensiunile porilor materialelor și temperatură.



La calculul termic al elementelor de construcție se ia în considerare coeficientul de conductivitate termică al materialelor în stare umedă, corespunzător umidității de echilibru ce se stabilește în condițiile de exploatare a clădirilor. Valoarea coeficientului de conductivitate termică în stare umedă se obține folosindu-se relația:

$$\lambda_u = \lambda_o \left( 1 + \frac{\eta \cdot \omega_v}{100} \right) \quad (3)$$

în care:

-  $\lambda_u$ , coeficientul de conductivitate termică a materialului la umiditatea  $u$  %, în Kcal/m.h. $^{\circ}$ C ;

-  $\lambda_o$ , coeficientul de conductivitate termică a materialelor, în stare uscată, în Kcal/m.h. $^{\circ}$ C ;

-  $\eta$ , coeficient de creștere a conductivității termice pentru o creștere a umidității volumetrice cu un procent, având pentru diferite materiale, valorile prezentate în graficele din figura 6.

-  $\omega_v$ , umiditatea materialului în condiții de exploatare, în % (raportată la volum).

Pentru principalele materiale de construcție creșterea conductivității termice, sub influența umidității normale de exploatare, prezintă valorile procentuale următoare:

- cărămidă plină 20 %;
- cărămidă poroasă sau cu găuri, blocuri cu găuri 30%;
- beton ușor, beton celular sau beton macroporos 45%..
- ... 80 % ;
- beton cu structură compactă 55 % ;
- lemn 20 %;
- plăci din fibre vegetale și minerale 10 %;
- tencuială interioară sau ipsos 110 %



În cazul cînd umiditatea materialului este raportată la greutate ( $\omega_g$ ), se va avea în vedere relația (4) între umiditatea volumetrică ( $\omega_v$ ) și densitatea unitară aparentă ( $\rho$ ):

$$\omega_v = \frac{\omega_g \cdot \rho}{1000} \quad (4)$$

d) Temperatura materialului conduce la creșterea conductivității termice ce se poate exprima printr-o relație liniară, stabilită de G.E. Vlasov, sub forma:

$$\lambda_t = \lambda_0 \cdot (1 + \beta t) \quad (5)$$

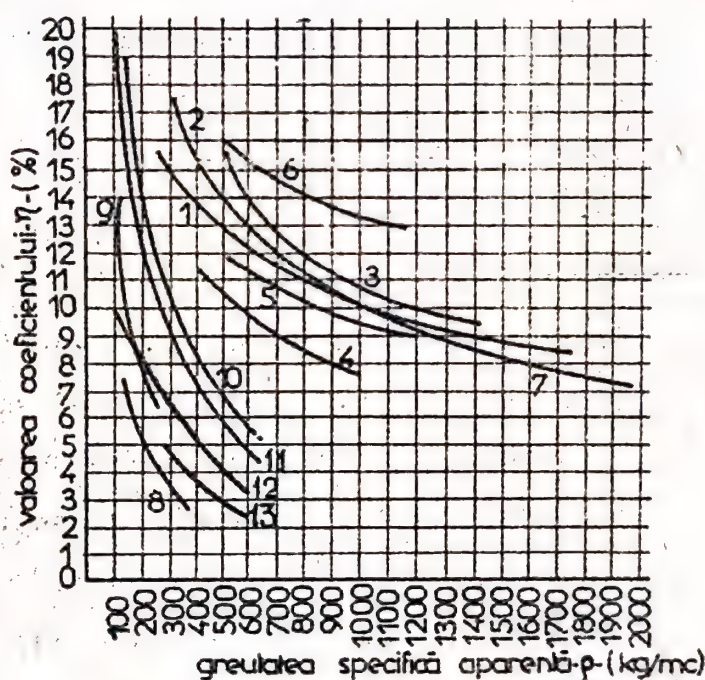


Fig.6. Variația coeficientului  $\eta$  de creștere a conductivității termice a materialelor de construcții cu fiecare procent de umiditate (raportat la volum) după B.N.Kaufman.

1. Cărmidă plină; 2. beton celular; 3. materiale ceramice poroase; 4. diatomit; 5. zgură; 6. granulit; 7. betoane; 8. materiale fibroase; 9. rumeguș; 10. fibrolit, stabilizat; 11. plăci plută;



12. plăci fibrolemnose.

în care:

-  $\lambda_0$ , conductivitatea termică a materialului la temperatura  $0^\circ\text{C}$ , în  $\text{kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;

-  $\beta$ , coeficient de proporționalitate ce exprimă creșterea conductivității termice pentru  $1^\circ\text{C}$  și prezintă valoarea medie pentru materialele de construcții 0,0025 ;

-  $t$ , temperatura medie de exploatare a elementului de construcție.

Dacă se cunosc valorile conductivității termice la temperaturile  $t_1$  și  $t_2$ , coeficientul mediu de conductivitate termică se poate calcula cu expresia:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (6)$$

În anexa I se prezintă valorile coeficientului de conductivitate termică  $\lambda_u$  pentru condiții de climat normal pentru principalele materiale de construcții.

Din punct de vedere al condițiilor de climat interior care acționează asupra elementelor de construcții distingem încăperi uscate, normale și umede, conform datelor din tabelul 1, pentru temperatura aerului de  $20^\circ\text{C}$ .

Tabelul 1

Clasificarea climatului interior din punct de vedere al umidității.

Nr. crt.	Tipul de climat	Umiditatea relativă a aerului, %	Presiunea vaporilor de apă, în torr
1.	uscat	sub 50	8,0
2.	normal	între 50 și 60	8,0....10,0
3.	umed	peste 60, pînă la 75	10,0....12,5



Pentru clădirile cu regim de umiditate ridicată, amplasate în regiuni cu climă normală și în cazul construcțiilor cu regim de umiditate normală situate în regiuni cu climă umedă, valorile conductivității termice din anexa 1 se majorează la materiale de rezistență cu 10 % și la materiale termoisolatoare cu 50 %.

Pentru determinarea experimentală a coeficientului de conductivitate termică, conform STAS 5912-58 se recomandă două metode:

- metoda plăcii, bazată pe măsurarea energiei electrice consumată într-un încălzitor care acționează asupra plăcii din materialul supus încercării;

- metoda peretelui ajutător (termo-fluxmetru).

Metoda plăcii, bazată pe folosirea aparatului Dr. Bock, implică folosirea probelor de dimensiunile 25 x 25 cm și grosimea de 4 ... 8 cm, obținându-se valori ale conductivității termice cu aproximații de 2...3 %. Metoda peretelui ajutător permite efectuarea de determinări pe probe de 50 x 50 cm, cu aproximație de pînă la 6 %.

Metoda plăcii constă, în principiu, din măsurarea cantității de căldură necesară pentru menținerea regimului staționar în cazul unei probe din materialul încercat, dispusă între două plăci (una rece, sub influența unui circuit de apă și altă caldă, la temperatura precizată și asigurată pe cale electrică.) Cantitatea de căldură ce străbate proba se obține prin transformarea energiei electrice necesare menținerii temperaturii plăcii calde la valoarea aleasă. În fig. 7 se prezintă schema de principiu a aparatului Dr. Bock cu care sînt însestrate laboratoarele de specialitate din țară.



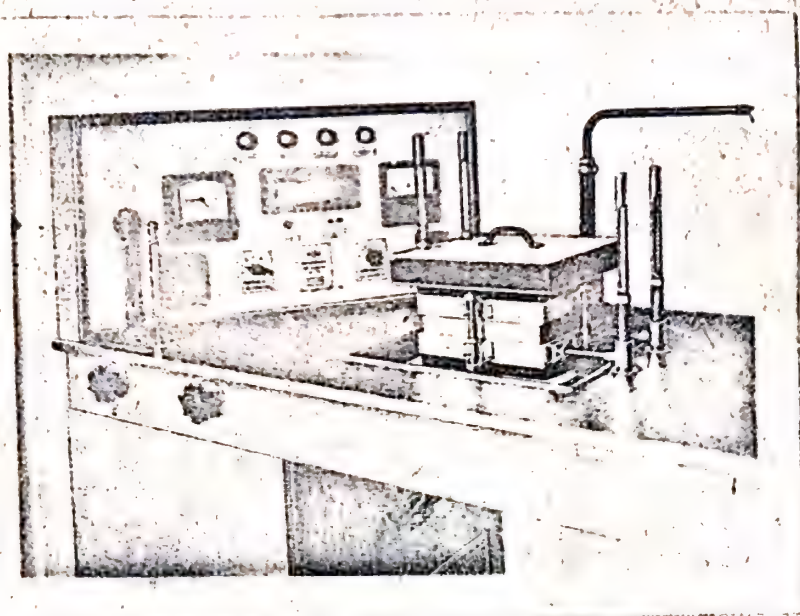
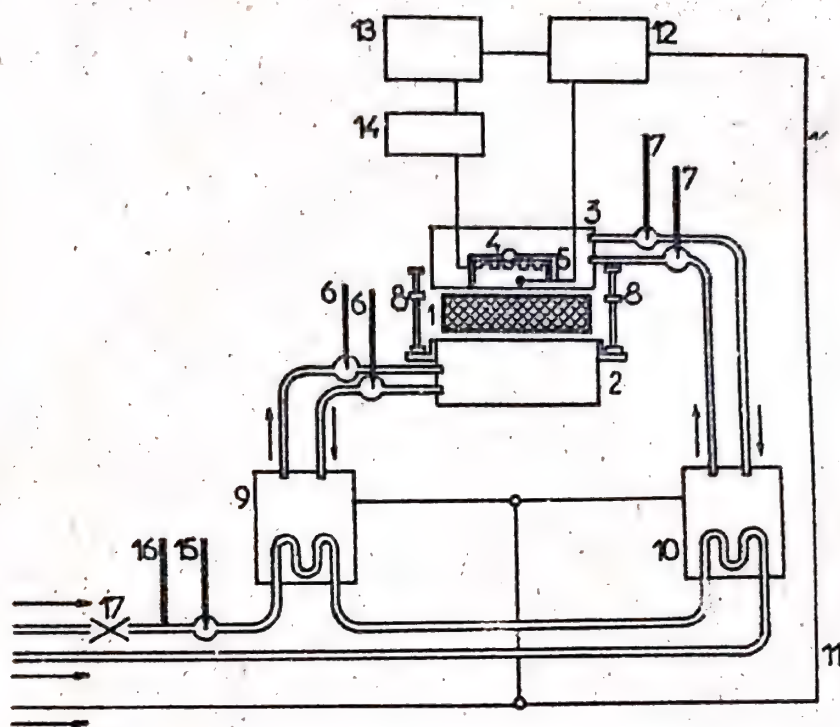


Fig.7. Schema și vederea generală a aparatului Dr.Bock pentru determinarea conductivității termice: 1.corpul de probă;



2. placa de răcire; 3. placa de protecție termică; 4. placa de încălzire; 5. coloana de termocupluri; 6-7. termocuple pentru placa de protecție termică; 8. șuruburi micrometrice; 9. termostat pentru placa de răcire; 10. termostat pentru placa de protecție termică; 11. rețea de curent electric; 12. voltmetru; 13. contor electric; 14. milivoltmetru; 15. termometru pentru apa de răcire; 16. debitmetru; 17. ventil de reglare a debitului de răcire.

Conductivitatea termică  $\lambda$ , se determină cu relația:

$$\lambda = \frac{q \cdot d}{t - q \cdot w} \quad (7)$$

în care:

$$q = \frac{C \cdot \Delta E}{\Delta T} \quad \text{și} \quad K = \frac{n \cdot C_1 \cdot 10.0,86}{S} \quad (8)$$

- $q$ , fluxul termic unitar;
  - $d$ , grosimea probei în mm, calculată ca valoare medie a citirilor la patru șuruburi micrometrice, cu precizia de 1/100 mm;
  - $\Delta E$ , consumul de energie electrică în Kwh;
  - $\Delta T$ , intervalul de timp în ore, corespunzător lui  $\Delta E$ ;
  - $C$ , constantă a aparatului;
  - $N$ , constantă care stabilește suma rezistențelor termice ale aparatului ( $N = 3$ );
  - $t$ , diferența temperaturilor superficiale ale probei de material în  $^{\circ}\text{C}$ , calculată cu expresia:
- $$t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - \frac{t_{k1} + t_{k2}}{2} \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (9)$$
- $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ , temperaturile plăcii calde, în  $^{\circ}\text{C}$ ;
  - $t_{k1}$ ,  $t_{k2}$ , temperaturile plăcii reci, în  $^{\circ}\text{C}$ ;
  - $n$ , raportul dintre consumul plăcii de încălzire și consumul general de energie a aparatului;
  - $C_1$ , constanta contorului;



-  $S$  , suprafața plăcii de încălzire în contact cu materialul de studiat, în  $\text{cm}^2$ ;

-  $10$  , factor de transformare a dimensiunilor;

-  $0,86$  factorul de transformare al Wh în Kcal.

În laborator se pot folosi și alte metode valabile pentru regimul staționar, cum sînt: metoda țevii, metoda sferei, prezentate în lucrarea lui H.M.Goleand ( 13 ) și metoda termofluxmetrelor folosită la elemente de construcție la grosimea reală, care permite determinarea coeficientului total de transmisie termică. Pentru materiale cu găuri se poate folosi metoda calogiei electrice directă în cuvă cu electrolit ( 9 ), bazată pe analogia între fluxul termic și electric. Determinarea coeficientului de conductivitate termică în regim nestaționar, care prezintă interes în comportarea noilor structuri, se bazează pe transmisia termică în regim variabil și se realizează prin metodele elaborate de Condratiev S.E., Vernotte, Cimpan T. și G.S.T.B. ( Franța ).

## B. Transmisia căldurii.

### 1.1.2. Transmisia căldurii în regim staționar.

Transmisia căldurii prin elementele de construcție are loc iarna de la interior la exterior ( fig.8 ) deoarece  $t_i > t_e$  ,  $t_i$  și  $t_e$  fiind temperaturile aerului interior și respectiv exterior, iar vara de la exterior spre interior deoarece în general  $t_e > t_i$  , în timpul zilei ( 12 ). Considerîndu-se într-un perete omogen, un strat de grosime infinitesimală  $dx$ , la care temperatura variază cu cantitatea  $dt$ , în cazul regimului termic staționar, densitatea fluxului de căldură  $q$ , se calculează pe baza relației stabilită de Fourier:

$$q = \lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad ( 10 )$$



în care:

$q$ , densitatea fluxului de căldură, în Kcal/m<sup>2</sup>h sau W/m<sup>2</sup>;

$\lambda$ , coeficientul de conductivitate termică a materialului omogen în Kcal/m.h.°C sau W/m.°C;

$\frac{dt}{dx}$  gradientul de temperatură, în °C/m.

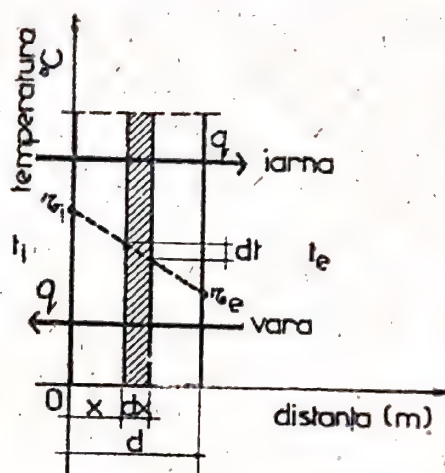


Fig.8. Transmisia căldurii prin conducție la structuri omogene.

zintă sub formă:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (12)$$

Pentru elementele de construcție cu transmisie spațială (colțuri, intersecții, ramificații de pereți și acoperișuri, cornișe), ecuația diferențială ce caracterizează propagarea căldurii prin conducție, în regim staționar, se exprimă astfel:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \quad (13)$$

În regim staționar  $q = \text{const.}$ , deci:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \cdot \frac{d^2 t}{dx^2} = 0 \quad (11)$$

Ecuația (11) caracterizează regimul termic staționar unidirecțional.

În cazul propagării căldurii după două direcții  $x$  și  $y$ , în mediu omogen, ecuația diferențială care caracterizează transmisia plană prin conducție, în regim staționar, se pre-



în care  $x, y, z$  reprezintă coordonate spațiale.

În cazul fenomenului unidirecțional, exprimat prin ecuația (10), câmpul termic este constant în planele paralele cu suprafața elementului de construcție, (fig.9)

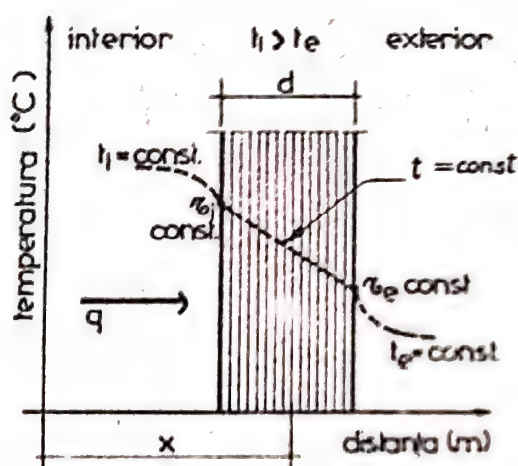


Fig.9. Câmpul termic constant în planele paralele cu peretele.

Ecuațiile (11) și (12), de tip Laplace, prezintă interes, în cunoașterea câmpurilor termice la structuri neomogene, la pereți din panouri mari și beton monolit, la care intervine transmisia plană și spațială a căldurii și care prezintă comportare specifică din punct de vedere higrotermic față de structurile omogene tradiționale. Cunoașterea

câmpului termic implică integrarea acestor ecuații avându-se în vedere condițiile la limită spațiale care se referă la temperatură și bilanț termic pentru suprafețele ce delimitează domeniul studiat.

La structuri cu transmisie termică unidirecțională, variația temperaturii în elementul de construcție presupune rezolvarea ecuației diferențiale :

$$dt = -\frac{q}{\lambda} \cdot dx \quad (14)$$

cu următoarele condiții la limită:

$$x = 0, t = t_i ; \quad x = d, t = t_e ; \quad (15)$$



După integrarea ecuației (14) se obține:

$$t = -\frac{q}{\lambda} \cdot x + C \quad (16)$$

Punând condițiile la limită rezultă:

$$C = t_1 \text{ și } t_2 = -\frac{q}{\lambda} \cdot d + t_1 \quad (17)$$

de unde:

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta t \quad (18)$$

Variația temperaturii în peretele omogen, considerând sistemul de coordonate  $x$  o  $t$  este liniară și este exprimată de relația:

$$t = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{d} \cdot x = t_1 - \frac{\Delta t}{d} \cdot x \quad (19)$$

### 1.1.3. Permeabilitatea termică și rezistența la permeabilitatea termică a elementelor de construcție.

La structuri de elemente omogene, pe baza relațiilor (1) și (8), cantitatea de căldură  $Q$  transmisă este proporțională cu raportul  $\Lambda = \frac{\lambda}{d}$ , exprimat în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  ce reprezintă o caracteristică termofizică a elementului de construcție, denumită coeficientul de permeabilitate termică. Se definește prin cantitatea de căldură transmisă prin conducție printr-o suprafață de  $1 \text{ m}^2$ , a elementului de construcție, de grosime  $d$  în  $\text{m}$ , timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două fețe ale elementului de  $1^\circ\text{C}$ .

Inversul coeficientului de permeabilitate termică:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda} = R \quad (20)$$

reprezintă rezistența la transmiterea căldurii prin conducție.



exprimată în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ , definindu-se prin rezistența pe care o opune un  $m^2$  de suprafață a elementului de construcție, de grosime  $d$ , la trecerea căldurii prin conducție, în timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două fețe de  $1^\circ C$ .

## 1.2. Transmisia căldurii prin convecție.

Propagarea căldurii prin convecție are loc ca fenomen general, la suprafețele de contact, între elementele de construcție și fluide (aer, apă,) deoarece temperaturile suprafețelor sînt diferite de ale mediului ambiant.

Cantitatea totală de căldură primită ( $q_c$ ) sau cedată ( $q'_c$ ) de un perete, fig.10, prin convecție, exprimată în Kcal, se determină pe baza legii lui Newton :

$$\begin{aligned} q_c &= \alpha_c \cdot S \cdot (t_i - t_{e_i}) \cdot T & (\text{la primire}) \\ q'_c &= \alpha'_c \cdot S \cdot (t_e - t_{e_e}) \cdot T & (\text{la cedare}) \end{aligned} \quad (21)$$

în care:

- $S$ , suprafața elementului de construcție exprimată în  $m^2$  ;
- $\alpha_c$ , coeficientul de transfer termic prin convecție la suprafața interioară, exprimat în  $Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$  sau  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  ;
- $\alpha'_c$ , coeficientul de transfer termic prin convecție la suprafața exterioară, exprimat în  $Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$  sau  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  ;
- $t_i - t_{e_i} = \Delta t_i$  ;  $t_e - t_{e_e} = \Delta t_e$  diferența de temperatură la primirea și respectiv cedarea căldurii, în  $^\circ C$  ;

$\alpha_c$  și  $\alpha'_c$  definesc coeficienții de schimb superficial de căldură.

Dacă în relațiile ( 21) se consideră  $S = 1 m^2$ , diferențele de temperatură  $\Delta t_i = \Delta t_e = 1^\circ C$  ;  $T = 1h$  , se obține:

$$q_c = \alpha_c \text{ Kcal}/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C ; \quad q'_c = \alpha'_c \text{ Kcal}/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C \quad (22)$$

Coeficienții de convecție ( $\alpha_c$  și  $\alpha'_c$ ) se definesc



ca fiind cantitatea de căldură, în kilocalorii, primită sau cedată într-o oră de  $1 \text{ m}^2$  de suprafață de perete, când diferența de temperatură între fluid și suprafețele elementului de construcții este de  $1^\circ\text{C}$ .

Valorile coeficienților  $\alpha_o$  și  $\alpha'_o$  depind de natura fluidului, de natura și aspectul suprafețelor în contact, de diferența de temperatură între elementul de construcție și mediul ambiant, de viteza fluidului, în cazul când este în mișcare, de viteza vântului, în cazul aerului exterior și de sistemul de ventilație, în spații închise.

Pentru elementele de construcții, coeficientul de convecție interioară se poate calcula cu expresia lui Nuosselt:

- Pentru suprafața interioară a pereților exteriori, când  $t_i - t_e < 5^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_o = 3 + 0,08 (t_i - t_e) \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  (23)

$$\alpha_o = 2,2 \sqrt[4]{t_i - t_e} \text{ când } t_i - t_e > 5^\circ\text{C}. \quad (24)$$

- Pentru pereții interiori:

$$\alpha_o = 2,2 \sqrt[4]{t_i - t_e} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (25)$$

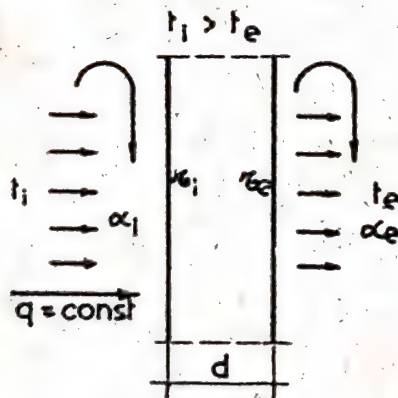


Fig.10. Transmisia căldurii prin convecție

Pentru planșee și acoperișuri, când sensul fluxului termic este ascendent (de exemplu la tavane avînd deasupra pod neîncălzit):

$$\alpha_o = 2,8 \sqrt[4]{t_i - t_e} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (26)$$

Pentru flux de căldură descendent, de exemplu pentru pardoseli așezate pe subsol neîncălzit,  $\alpha_o = 0$  ceea ce se explică prin faptul că într-o încăpere închisă aerul va circula de jos în sus și nu invers.

Din relația lui Nuosselt rezultă că mărimea  $\alpha_o$  nu de-



pinde de viteza mișcării aerului ceea ce este valabil în măsura în care într-o încăpere închisă viteza aerului este neglijabilă.

Pentru suprafața exterioară a peretelui exterior, mărimea coeficientului de convecție exterioară  $\alpha'_0$  depinde de viteza vântului și se poate calcula cu relația lui Wirtz :

$$\alpha'_0 = 13 \sqrt{v} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (27)$$

în care:

-  $v$ , viteza vântului, în m/s.

În condițiile obișnuite  $v = 1,5$  m/s la sate și periferii de orașe și  $v = 0,75$  m/s pentru centrul orașelor.

### 1.3. Transmitia căldurii prin radiație.

Schimbul de căldură în construcții poate avea loc și prin transmitia energiei radiante a suprafețelor elementelor de construcție, la interior sau exterior, a obiectelor și corpurilor de încălzire ce se află în încăperi.

Cantitatea de căldură transmisă prin radiație variază proporțional cu temperatura absolută a corpului la puterea a patra, conform relației lui Stephen - Boltzmann :

$$q_r = c \left[ \frac{T}{100} \right]^4 \quad (28)$$

în care:

-  $q_r$ , fluxul de căldură radiată, în Kcal/m<sup>2</sup>·h. ;

-  $c$ , coeficient de radiație în Kcal/m<sup>2</sup>·h.(K)<sup>4</sup> și care reprezintă cantitatea de căldură radiată de 1 m<sup>2</sup> de material într-o oră, în vid, la o temperatură absolută a suprafeței radiante egală cu 100<sup>°</sup>C ;

-  $T$ , temperatura suprafeței în <sup>°</sup>K.

Cantitatea de căldură primită prin radiație de la aerul



interior la suprafața interioară a peretelui exterior, fig.11, sau respectiv transmisă de suprafața exterioară a peretelui exterior este:

$$Q_r = C.S. \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ Kcal/h} \quad (29)$$

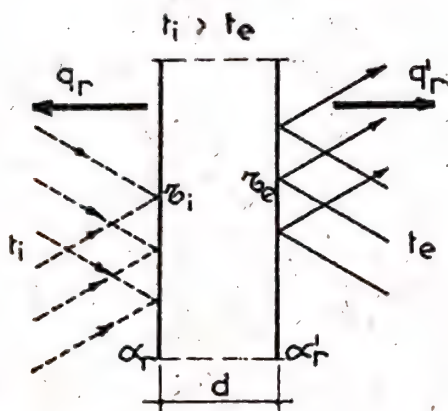


Fig.11. Transmisia căldurii prin radiație

-  $S$ , suprafața ce primește sau radiază căldura, exprimată în  $m^2$ ;

-  $T_1$ , temperatura absolută a aerului încăperii ( $T_1 = t_i + 273$ ) sau respectiv a suprafeței exterioare a peretelui exterior ( $T_1 = t_e + 273$ ) în  $^{\circ}K$ ;

-  $T_2$ , temperatura absolută a suprafeței interioare a peretelui exterior ( $T_2 = t_i + 273$ ) și a aerului exterior, respectiv:

$$(T_2 = t_e + 273).$$

La materiale de construcție termoizolante, valorile coeficientului " $C$ " variază în limitele de la 31 Kcal/ $m^2.h.(^{\circ}K)^4$  pînă la 4,7 Kcal/ $m^2.h.(^{\circ}K)^4$ . În medie pentru majoritatea materialelor de construcții se poate considera valoarea de 4,2 Kcal/ $m^2.h.(^{\circ}K)^4$ . Cea mai mare valoare a coeficientului de radiație o are corpul negru pentru care  $C=4,96$  Kcal/ $m^2.h.(^{\circ}K)^4$ .

Raportînd expresia (29) la diferența de temperatură a aerului interior și a suprafeței interioare a peretelui exterior și respectiv a suprafeței exterioare a peretelui și a aerului exterior, pentru mărimea suprafeței de  $1m^2$  și în timp de o oră, se obțin expresiile coeficienților de radiație a căldurii:

- la primirea căldurii:



$$\alpha_r = \frac{0. \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_i - \bar{t}_i} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (30)$$

- la cedarea căldurii:

$$\alpha'_r = \frac{0. \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\bar{t}_e - t_e} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (31)$$

#### 1.4. Transmisia căldurii prin convecție și radiație.

##### Coefficienții de schimb superficiali

Căldura totală primită de suprafața interioară a peretelui exterior și căldura totală cedată de suprafața exterioară a peretelui este suma căldurii primită sau cedată prin convecție și radiație. Aceste fenomene sînt luate în considerare prin coeficientul de schimb superficial la primirea căldurii ( $\alpha_i$ ) și coeficientul de schimb superficial la cedarea căldurii ( $\alpha_e$ ), denumiți coeficienții de transfer termic la suprafața interioară și respectiv exterioară și reprezintă:

$$\alpha_i = \alpha_c + \alpha_r \quad \text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \text{ sau } \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (32)$$

$$\alpha_e = \alpha'_c + \alpha'_r \quad \text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \text{ sau } \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Inversul coeficienților  $\alpha_i$  și  $\alpha_e$  definesc rezistența la primirea  $R_i$  și respectiv cedarea căldurii,  $R_e$ , exprimîndu-se astfel:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/Kcal} \text{ sau } \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \quad (33)$$

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e} \quad \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/Kcal} \text{ sau } \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$



În anexa II sînt prezentate valorile coeficienților de schimb superficial de căldură și a rezistențelor la schimb superficial de căldură, în conformitate cu STAS 6472 - 68 și după literatura franceză.

### 1.5. Transmisia căldurii prin elemente de construcții în straturi.

#### 1.5.1. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele.

În cazul unui element de construcție plan, compus din mai multe straturi, perpendiculare pe fluxul termic, avînd grosimile  $d_1, d_2, d_3$  (fig. 12) și coeficienții de conductivitate termică  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , transmisia căldurii prin conducție în regim staționar implică condiția ca densitatea fluxului termic pentru fiecare strat să fie constantă (22).

$$q = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot (t_i - t_1) = \frac{\lambda_2}{d_2} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{\lambda_3}{d_3} \cdot (t_2 - t_e) = \text{const.} \quad (34)$$

Din relațiile (34) se obțin diferențele de temperaturi între fețele straturilor 1, 2, 3.

$$(t_i - t_1) = q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1}; (t_1 - t_2) = q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2}; (t_2 - t_e) = q \cdot \frac{d_3}{\lambda_3} \quad (35)$$

Diferența totală de temperatură între fețele extreme ale elementului compus este:

$$t_i - t_e = q \cdot \left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right) \quad (36)$$

Densitatea fluxului termic  $q$  se poate exprima cu relația:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{\Delta t}{R} \quad (37)$$



Densitatea fluxului termic la transmisia căldurii prin conducție, în regim staționar, la structuri în mai multe straturi este proporțională cu diferența de temperatură între suprafețele extreme și invers proporțională cu rezistența termică la transmisia căldurii prin conducție, o caracteristică termică a elementului de construcție, exprimată în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Kcal}$ .

Expresia fluxului termic prin conducție se poate pune sub formă:

$q = \Delta T \cdot K$  în care:

$$K = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \quad (38)$$

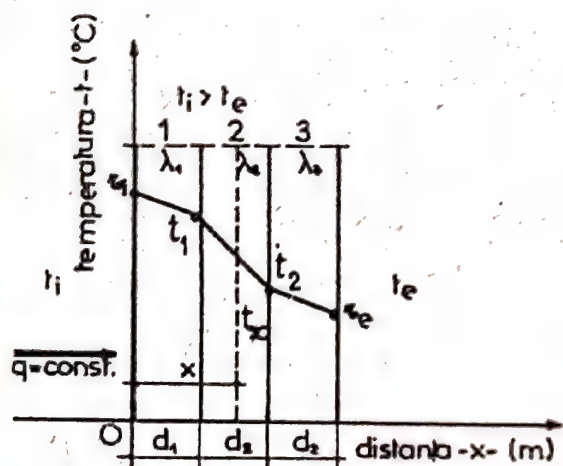


Fig. 12. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi. Variația temperaturii.

$K$  reprezintă coeficientul de transmisie termică a căldurii prin conducție, la elemente în mai multe straturi, exprimat în  $\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  și se definește prin/cantitatea de căldură ce trece prin  $1 \text{ m}^2$  de perete, timp de o oră și pentru o diferență

de temperatură între cele două fețe extreme de  $1^\circ\text{C}$ .

$R$ , caracterizează rezistența la transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi și reprezintă suma rezistențelor la trecerea căldurii prin suprafața de  $1 \text{ m}^2$  a straturilor componente, având grosimile  $d_1, d_2, d_3$ , timp de o oră și pentru o diferență totală de temperatură între suprafețele extreme de  $1^\circ\text{C}$ , conform relației:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = \sum_{k=1}^3 \frac{d_k}{\lambda_k} \quad (39)$$



În cazul structurilor alcătuite din "n" straturi, relația (38) devine:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} = \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} \quad (40)$$

Între R și K există relația:

$$R = \frac{1}{K} \quad (41)$$

Valoriile temperaturilor suprafețelor interioare în planurile de separație ale straturilor componente se pot calcula cu expresiile:

$$\begin{aligned} t_1 &= \bar{t}_i - q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1} = \bar{t}_i - q \cdot R_1 = \bar{t}_i - \frac{R_1}{R} \cdot \Delta \bar{t} \\ t_2 &= t_1 - q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2} = \bar{t}_i - q \cdot \left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \right) = \bar{t}_i - q \cdot (R_1 + R_2) = \bar{t}_i + q \cdot \frac{d_3}{\lambda_3} = \bar{t}_e + \Delta \bar{t} \cdot \frac{R_3}{R} \end{aligned} \quad (42)$$

Într-un strat la distanța x de fața caldă, temperatura  $t_x$  rezultă pe baza relației:

$$t_x = \bar{t}_i - q \cdot R_x = \bar{t}_i - \left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{x-d_1}{\lambda_2} \right) \cdot \frac{\Delta \bar{t}}{R} \quad (43)$$

în care:

$R_x$  - rezistența termică la transmisia căldurii prin conducție pînă în secțiunea x.

Reprezentarea grafică a temperaturii în structura peretelui în mai multe straturi este o linie frîntă ( $\bar{t}_i - t_1 - t_2 - \bar{t}_e$ ).

### 1.5.2. Rezistența termică a straturilor de aer la pereți.

Valoarea rezistenței termice a straturilor de aer incluse în elementele de construcție exterioare, pereți și terase funcție de grosimea stratului, fig.13, poziția în elementul de construcție (orizontală sau verticală), direcția fluxului termic, temperatura și umiditatea aerului, capacitatea de absorb-



șie termică a materialelor ce delimitează stratul de aer, definită

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1$$

In anexa III sînt prezentate valorile rezistenței termice a straturilor de aer incluse în elementele de construcție, în funcție de grosimea, orientarea straturilor și a fluxului termic, considerînd straturile ce delimitează lamela de aer din materiale masive cu  $a_1 = a_2 = 0,90$  și  $a = 0,82$ . Dacă una din suprafețe este metalică și alta masivă  $a = 0,20$ , dacă ambele suprafețe sînt metalice  $a = 0,11$  și  $a = 0,05$  la suprafețe de absorbție redusă.

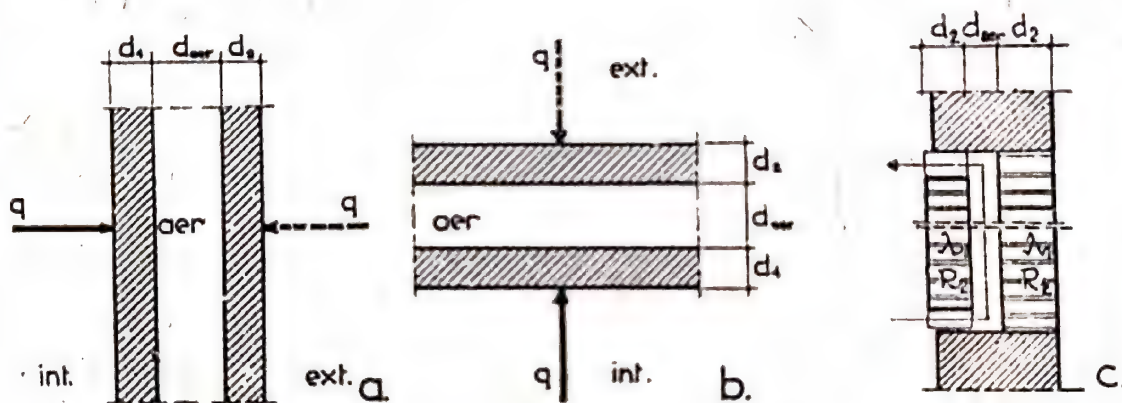


Fig.13. Capacitatea de izolare termică a aerului, depinde de orientarea stratului și grosimea: a) vertical; b) orizontal ; c) strat aerat.

Din datele prezentate rezultă că grosimea optimă a stratului de aer din punct de vedere al eficienței termice este 10 - 30 mm. Creșterea grosimii stratului de aer peste 50 mm, în cazul fluxului termic ascendent, nu influențează favorabil rezistența termică a lamelei de aer, datorită activității schimburilor prin convecție. În scopul de a asigura eficiența termică a straturilor de aer este indicat ca în exploatare să se asigure



etanșeitatea elementelor de construcție pentru evitarea circulației aerului și a curenților de convecție.

În cazul lamelei de aer ușor ventilată, fig. 13 c, cu orificii de suprafață  $\lambda < 100 \text{ cm}^2$  pe m.l. de perete, rezistența stratului de aer de 3 cm grosime se ia  $R_a = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C} / \text{Kcal}$ , sau  $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C} / \text{W}$ , iar coeficientul global  $R_0 = \frac{1}{K_0} = \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + R_a + R_e + \frac{1}{\alpha_e}$ .

În cazul stratului de aer puternic ventilat, se va lua  $R'_0 = \frac{1}{K'_0} = \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + \frac{1}{\alpha_e}$ . Dacă stratul de aer este ventilat într-o măsură intermediară, coeficientul global de transmisie a căldurii va avea valoarea medie  $\bar{K} = K_0 + \alpha(K'_0 - K_0)$  în care  $\alpha$  depinde de raportul  $\frac{R_2}{R_1}$  și de mărimea orificiilor de aerisire, având valori între 0,10 și 0,60. La structuri puternic ventilate cu secțiuni ale orificiilor de ventilație cuprinse între 200 și 400  $\text{cm}^2$  se poate utiliza relația aproximativă:

$$\frac{1}{K_0} = R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + R_1 + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{2}{\alpha_i} + R_1$$

### 1.5.3. Transmisia termică totală a căldurii, prin conducție și convecție.

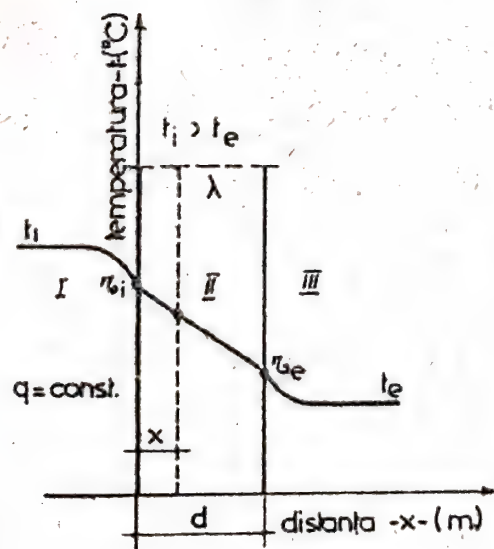


Fig. 14. Transmisia totală a căldurii prin conducție și convecție.

Transmisia căldurii în construcții are loc în special prin conducție și convecție.

În cazul unui element de construcție omogen care separă două medii de temperaturi diferite, cu temperaturile  $t_i > t_e$ , în regim termic staționar, are loc transport



de căldură din zona mai caldă spre mediul mai rece în următoarele faze ( fig.14):

- Transmisia căldurii prin convecție(I) de la aerul din încăpere la fața interioară a peretelui exterior, pe baza relației:

$$q_I = \alpha_i \cdot (t_i - \vartheta_i) \quad (44)$$

- Transmisia căldurii prin conducție(II),dela suprafața mai caldă la suprafața mai rece a elementului de construcție, conform expresiei:

$$q_{II} = \frac{\lambda}{d} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (45)$$

- Transmisia căldurii prin convecție(III) de la suprafața exterioară a elementului de construcție la aerul exterior, pe baza relației:

$$q_{III} = \alpha_e \cdot (\vartheta_e - t_e) \quad (46)$$

Condiția regimului termic staționar implică șirul de egalități ale expresiilor densității fluxului termic:

$$q_I = q_{II} = q_{III} = \alpha_i \cdot (t_i - \vartheta_i) = \frac{\lambda}{d} (\vartheta_i - \vartheta_e) = \alpha_e \cdot (\vartheta_e - t_e) = q \quad (47)$$

Diferențele parțiale de temperatură se pot calcula cu relațiile:

$$t_i - \vartheta_i = \frac{q}{\alpha_i} ; \vartheta_i - \vartheta_e = q \cdot \frac{d}{\lambda} ; \vartheta_e - t_e = \frac{q}{\alpha_e} \quad (48)$$

Din expresiile (48) se obține diferența totală de temperatură între mediile I și III:

$$t_i - t_e = q \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \quad (49)$$

de unde:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = (t_i - t_e) \cdot k_t = \frac{\Delta t}{R_t} \quad (50)$$



1.5.4. Coeficientul de transmisie termică și rezistența termică totală a elementelor de construcție în straturi.

Termenul 
$$K_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (51)$$

exprimat în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  sau  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , reprezintă o caracteristică termică a elementului de construcție de grosime  $d$ , denumit coeficientul de transmisie termică totală și reprezintă cantitatea de căldură ce trece în regim staționar printr-o suprafață de  $1 \text{ m}^2$ , timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două medii de  $1^\circ\text{C}$ .

Inversul acestui coeficient.

$$\frac{1}{K_t} = R_t = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} = R_i + R + R_e \quad (52)$$

exprimat în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/Kcal}$  sau  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , reprezintă rezistența la transmisia termică totală a căldurii, adică rezistența pe care o opune la trecerea căldurii un element de construcție de  $1 \text{ m}^2$  suprafață, grosime  $d$ , timp de o oră și pentru o diferență a temperaturilor celor două medii de  $1^\circ\text{C}$ .

Rezistența totală la transmisia căldurii este suma rezistențelor la transmisia căldurii prin convecție interioară ( $R_i$ ), prin conducție ( $R = \frac{d}{\lambda}$ ) și convecție exterioară ( $R_e$ ).

În cazul unui element de construcție alcătuit din "n" straturi, coeficientul de transmisie termică totală și respectiv rezistența la transmisia termică totală se exprimă astfel:

$$K_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e}}; \quad R_t = \frac{1}{K_t} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (53)$$

Calculul temperaturilor suprafețelor de separație ale elementului de construcție compus, se face cu ajutorul relațiilor :



$$t_i - \bar{t}_i = q \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad ; \quad \bar{t}_i - \bar{t}_e = q \cdot \frac{d}{\lambda} \quad ; \quad \bar{t}_e - t_e = q \cdot \frac{1}{\alpha_e}$$

$$\bar{t}_i = t_i - q \cdot \frac{1}{\alpha_i} = t_i - \Delta t \cdot \frac{R_t}{\alpha_i} = t_i - \frac{R_i}{R_t} \cdot \Delta t$$

$$\bar{t}_e = \bar{t}_i - q \cdot \frac{d}{\lambda} = t_i - \frac{R_i}{R_t} \Delta t - R \cdot \frac{\Delta t}{R_t} = t_i - \left( \frac{R_i + R}{R_t} \right) \cdot \Delta t \quad (54)$$

Expresia lui  $\bar{t}_e$  se poate obține și în funcție de  $t_e$ :

$$\bar{t}_e = t_e + \frac{t_i - t_e}{\alpha_e} \cdot K_t = t_e + \frac{R_e}{R_t} \cdot \Delta t \quad (55)$$

Temperatura în stratul "x" se poate calcula cu expresia :

$$t_x = t_i - \frac{R_x}{R_t} \cdot \Delta t = t_i - \frac{R_i + \frac{x}{\lambda}}{R_t} \cdot \Delta t \quad (56)$$

în care:

-  $R_x$ , rezistența la transmisia totală a căldurii pînă în secțiunea x, exprimată în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$  sau  $m^2 \cdot ^\circ C / W$ .

#### 1.6. Pierderi generale ale căldurii în construcții.

##### Coeeficientul volumic de transfer a căldurii.

La stabilirea pierderilor generale ale căldurii în construcții trebuie să se ia în considerare pereții fără goluri exterioare (ferestre și uși), pereți cu goluri exterioare, precum și pierderile datorită aerisirii naturale a încăperilor. Debitul de căldură transmis prin pereți fără goluri, fig. 15, se obține plecînd de la rezistența termică a unui perete în mai multe straturi :

$$R_t = \frac{1}{K_t} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e}$$

$$K_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (57)$$

Expresia debitului de căldură la peretele plin (fără goluri) este deci :



$$q_{p+g} = K_t \cdot \Delta t \cdot A \quad [kcal/h] \quad (58)$$

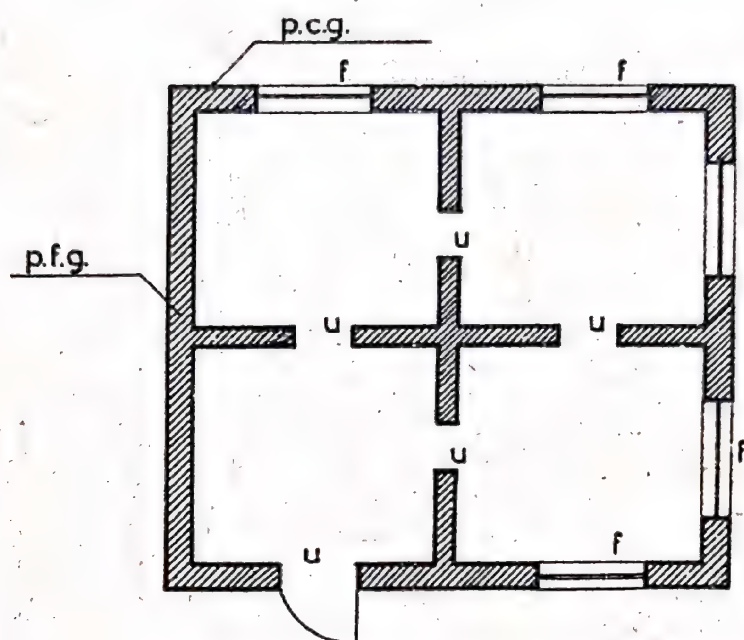


Fig.15. Pierderi generale ale căldurii în clădiri:

- p.f.g. - perete fără goluri;
- p.c.g. - perete cu goluri ;
- f - fereastră ;
- u - ușă

Pentru peretele din zidărie de cărămidă obișnuită, considerat etalon, valoarea lui  $K_t$  rezultă:

$$K_t = \frac{1}{0,14 + \frac{0,375}{0,7} + 0,05} = \frac{1}{0,77} = 1,30 \text{ Kcal/m}^2 \cdot h \cdot ^\circ C \quad (59)$$

Coeфициентul de transmisie termică a ferestrelor depinde de grosimea și natura sticlei, de tipul de fereastră (simplă, dublă, cuplate, cu oblon, etc.)

Considerînd grosimea minimă a sticlei 0,002 m, cu coeficientul de conductivitate termică  $\lambda = 1 \text{ Kcal/m} \cdot h \cdot ^\circ C$ , în cazul unei ferestre simple, coeficientul de transmisie termică



rezultă :

$$K_f = \frac{1}{R_f} = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,002}{1} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (60)$$

La ferestre duble coeficientul  $K_f$  prezintă valoarea 3 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C.

Valorile coeficientului de transmisie termică  $K_f$  scade în cazul ferestrelor cu obloane, la geam simplu între 2,5 și 4,0 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C și la geamuri duble între 2,0 și 2,5 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C. La ferestre cu obloane și perdele, coeficientul de transmisie termică la geam simplu prezintă valoarea între 2,0 și 3,0 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C, iar la geam dublu între 1,5 și 2,5 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C

Din motive economice la sistemul de încălzire centrală se recomandă ca raportul între fereastră și pardoseală să fie în zona I-a,  $\frac{1}{8} \dots \frac{1}{6}$ , în zona a II-a,  $\frac{1}{8} \dots \frac{1}{4}$  în zona a III-a între  $\frac{1}{10}$  și  $\frac{1}{6}$

Pierderile de căldură din încăperi, datorită aerisirii naturale, sînt egale cu produsul căldurii specifice a aerului (0,3 Kcal/m<sup>3</sup>·°C) cu volumul ventilat  $V$ , în m<sup>3</sup>/h și diferența de temperatură  $\Delta t = t_i - t_e$ , între aerul interior și exterior, conform expresiei:

$$q = 0,3 \cdot V \cdot n \cdot \Delta t \quad [\text{Kcal/h}] \quad (61)$$

în care:

-  $n$ , numărul de schimb orar al volumului de aer din încăpere.

Pentru aprecierea pierderilor globale de căldură din clădiri se introduce noțiunea de coeficient volumic de pierdere de căldură. Expresia fluxului termic global orar, în Kcal/h, în clădiri se prezintă sub forma:

$$Q = \sum A \cdot K_{p.f.g} \cdot \Delta t + \sum A \cdot K_{p.c.g} \cdot \Delta t + \sum A_f \cdot K_f \cdot \Delta t + 0,3 n \cdot V \Delta t \quad (62)$$



Fluzul global în Kcal/h.<sup>0</sup>C pentru  $\Delta t = 1^{\circ}\text{C}$ , diferență de temperatură, este:

$$Q = \sum A \cdot K_{p.f.g} + \sum A \cdot K_{p.c.g} + \sum A_f \cdot K_f + 0,3 nV \quad (63)$$

Împărțind expresia (62) prin  $V$ , se obține coeficientul volumic de pierderi a căldurii  $K_v$  în Kcal/m<sup>3</sup>.h.<sup>0</sup>C sau W/m<sup>3</sup>.<sup>0</sup>C :

$$K_v = \frac{\sum A \cdot K_p}{V} + \frac{\sum A_f \cdot K_f}{V} + 0,3 n \quad (64)$$

În care  $K_p$  reprezintă coeficientul de transmisie a căldurii la pereții fără fereastră, în Kcal/m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C.

La clădiri cu pereți din zidărie de cărămidă obișnuită, valoarea coeficientului volumic de transmisie a căldurii este cuprinsă între 1,10 și 1,70 Kcal/m<sup>3</sup>.h.<sup>0</sup>C, putându-se considera în medie 1,25 Kcal/m<sup>3</sup>.h.<sup>0</sup>C. Valorile maxime pentru  $K$  se recomandă la pereți masivi, 1,9 Kcal/m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C în zona I-a, 1,7 Kcal/m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C, în zona II-a și 1,5 Kcal/m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C în zona a III-a. La pereți ușori (masă între 200 și 350 Kcal/m<sup>2</sup> se recomandă  $K = 1,5$  Kcal/m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C în zonele I-a și II-a.

#### 1.7. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în straturi cu punți termice.

Integrarea ecuației cîmpului termic. Condiții la limite.

La pereți de zidărie cu stâlpi de beton armat, la panouri mari în trei straturi, la elemente de beton armat monolit în trei straturi, la colțuri și ramificații de pereți cu stâlpi de beton armat monolit, datorită neomogenității structurilor, transmisia căldurii prin conducție, după două și trei direcții, are loc pe baza ecuațiilor (65):



$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0 \quad (65)$$

Folosirea materialelor grele (betonul vibrat) și a materialelor ușoare termoizolatoare (vată minerală, pișcă minerală, beton celular, beton de granolit, polistiren expandat) în structuri neomogene face ca ipoteza clasică a transmisiei unidirecționale a căldurii, utilizată pentru structuri masive, omogene, să nu fie valabilă. La aceste structuri transmitia termică are loc nu numai de la interior la exterior, după direcția perpendiculară pe perete (fig.16,) dar și în planul peretelui, din zona cu coeficient mic de permeabilitate termică spre zona de permeabilitate termică mai mare. Fluxul termic total  $q$  este alcătuit din fluxul termic după direcția  $x$  ( $q_x$ ) și după direcția  $y$  ( $q_y$ ). Liniiile de flux termic  $\varphi(x,y)$  au o orientare oarecare în zona de influență a materialelor mai permeabile din punct de vedere termic. Modificarea direcțiilor liniilor de flux termic determină și modificarea

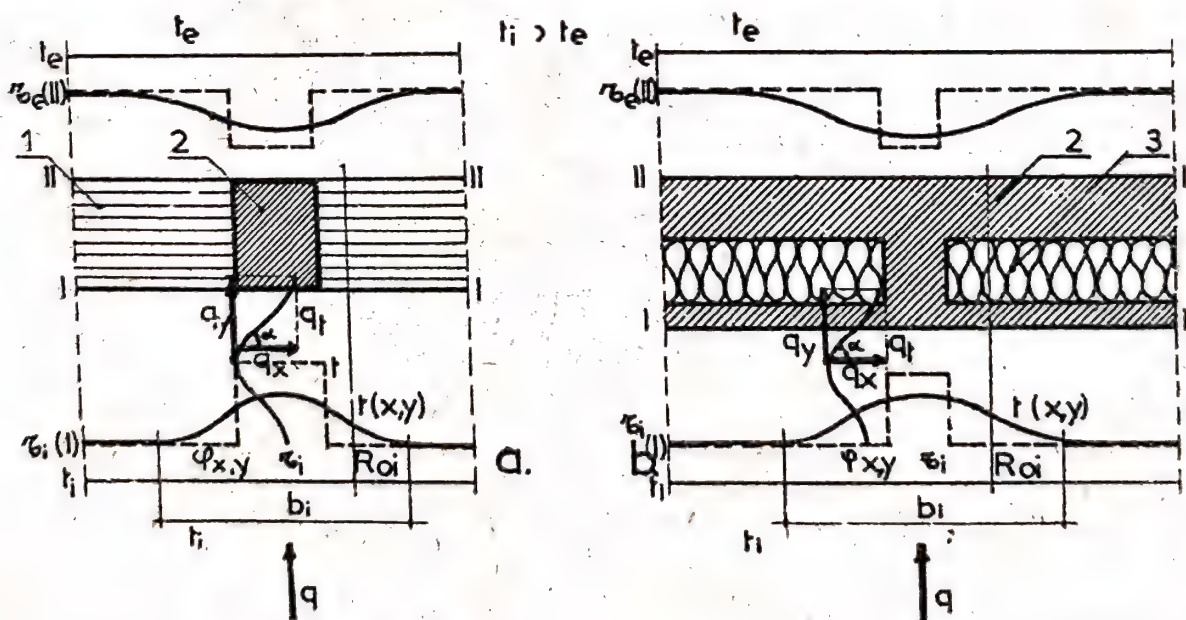


Fig.16. Transmisia plană a căldurii prin conducție la structuri neomogene: 1. sidărie ceramică; 2. beton armat; 3. izolație termică.  
a) stîlp de beton armat și sidărie de umplutură;  
b) perete din panouri mari.



rea curbelor de temperatură  $t(x, y)$  și deci a câmpului termic. La structurile omogene liniile de flux termic sînt perpendiculare pe perete și paralele între ele ceea ce face ca temperatura într-un plan paralel cu elementul de construcție să fie aceeași.

În cazul structurilor neomogene determinarea caracteristicilor termice se poate obține pe baza cunoașterii câmpului termic. Aceasta presupune integrarea ecuațiilor (65). Soluțiile particulare, exacte sau aproximative, ale ecuațiilor diferențiale trebuie să verifice condiții la limită care se definesc astfel:

- Condiții la limită de speța întâia (Dirichlet) fig. 17, care fixează distribuția funcției necunoscute pe conturul domeniului studiat și se exprimă cu relația:

$$t_s = f_1(x, y, z, T) \quad (66)$$

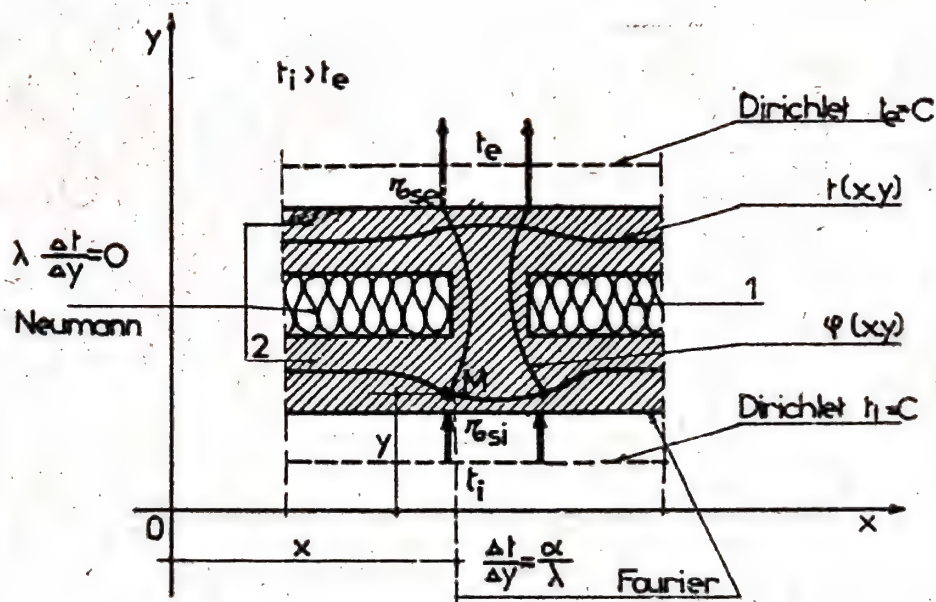


Fig. 17. Condiții de contur la o structură de perete cu punte termică cu transmisie pe două direcții: 1 - izolație termică; 2 - beton armat.

- Condiții la limită de speța a doua (Neumann) care fixează distribuția derivatelor funcției necunoscute pe conturul



domeniului studiat și se exprimă astfel:

$$\left| \frac{\partial t}{\partial n} \right|_s = f_{ij}(x, y, t, \tau) \quad (67)$$

în care,  $\frac{\partial t}{\partial n}$ , gradientul termic normal pe suprafața considerată.

Din punct de vedere termic această condiție are semnificația unui flux ce traversează suprafața elementului de construcție.

- Condiții la limită de speța treia (Fourier) care exprimă schimbul termic la suprafața de contact a elementului de construcție cu fluidul înconjurător (aer, apă) aflat la temperatură  $t_a$ ,

$$\alpha_{i,e} \cdot (t_s - t_a) = -\lambda \cdot \left| \frac{\partial t}{\partial n} \right|_s \quad (68)$$

în care:

-  $\alpha_{i,e}$ , coeficientul de schimb superficial de căldură la suprafața interioară și respectiv exterioară în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ,

-  $\lambda$ , coeficientul de conductivitate termică al materialului din care este alcătuit domeniul studiat, în  $\text{Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ .

- Condiții la limită de speța a patra ce intervin la probleme referitoare la domenii neomogene, de conductivități termice  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$ , care în condițiile egalității fluxurilor termice conduc la expresia:

$$\lambda_1 \cdot \left| \frac{\partial t_1}{\partial n} \right| = \lambda_2 \cdot \left| \frac{\partial t_2}{\partial n} \right| \quad (69)$$

### 1.8. Metode pentru determinarea caracteristicilor termice a elementelor de construcții.

Cunoașterea timpului termic, respectiv cunoașterea temperaturii în zona de transmisie plană ce caracterizează lățimea de influență  $b$ , a elementelor de mare permeabilitate termică, denumite punți termice, permite determinarea rezistenței termice, respectiv a coeficientului de transmisie termică în sec-



țiunea considerată.

Rezistența termică într-o secțiune K - K (fig.18) din zona de influență "b<sub>i</sub>" a punții se poate calcula pe baza temperaturii  $\bar{t}_{ik}$  sau  $\bar{t}_{ek}$  a suprafeței interioare sau exterioare a elementului de construcție, în condițiile de dimensionare termică avînd în vedere temperatura de calcul a aerului interior  $t_i$  și temperatura de calcul a aerului exterior  $t_e$ .

$$R_K = \frac{t_i - t_e}{t_i - \bar{t}_{ik}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{sau} \quad R_K = \frac{t_i - t_e}{t_e - \bar{t}_{ek}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \quad (70)$$

În secțiunea s-s, situată la limita zonei de influență "b<sub>i</sub>" a punții termice, rezistența termică are valoarea maximă calculată cu expresia:

$$R_{max_{s-s}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (71)$$

În secțiunea p-p, corespunzătoare axului punții termice, rezistența termică este minimă și se poate calcula cu ajutorul uneia din expresiile:

$$R_{min_{p-p}} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \bar{t}_{imin}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{sau} \quad R_{min_{p-p}} = \frac{t_i - t_e}{t_e - \bar{t}_{emax}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \quad (72)$$

În care:  $\bar{t}_{i \min}$  și  $\bar{t}_{e \max}$  reprezintă temperaturile minimă și respectiv maximă pe suprafața interioară și exterioară a elementului de construcție. Cunoșcîndu-se valorile  $R_K$ ,  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  se pot calcula pierderile reale de căldură în zona punților pe baza transmisiei plane a căldurii.

Cunoașterea cîmpului termic în cazul transmisiei plane implică rezolvarea ecuației diferențiale (73) în condiții la limită:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (73)$$



ce interesează practica construcțiilor.

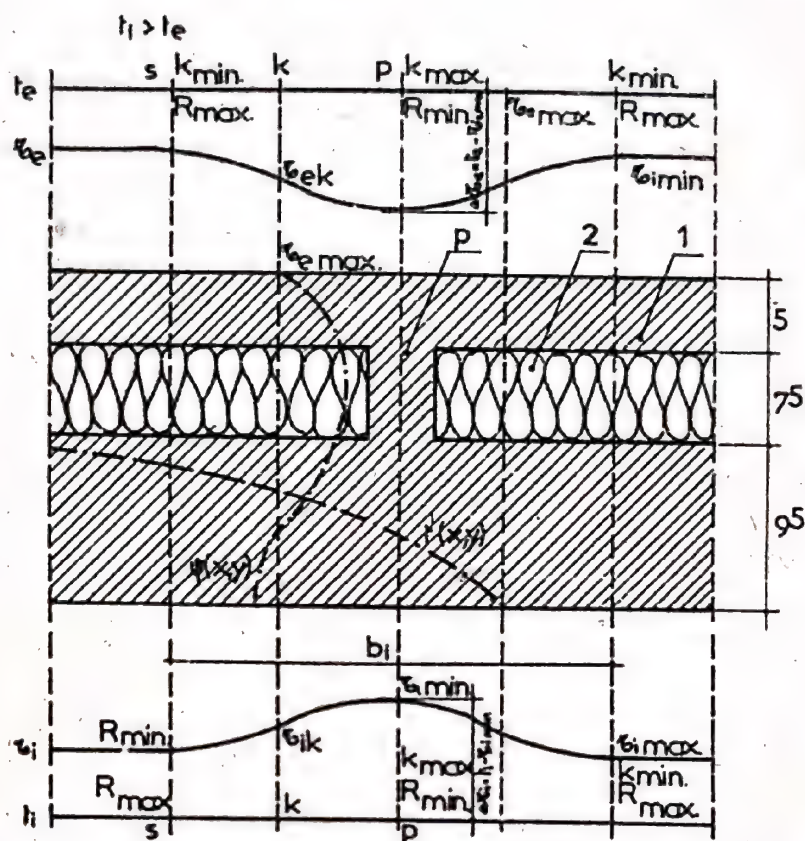


Fig. 18. Schema de calcul a coeficientului mediu de transmisie termică : 1 - beton armat ; 2 - izolație termică ; p - punte termică.

Soluția analitică exactă în acest caz este practic inaccessibilă și de aceea soluționarea problemelor termice de acest gen se bazează pe următoarele posibilități:

- Metode aproximative;
- Metode de calcul cu diferențe finite;
- Metoda analogiilor electrice;
- Metode experimentale la clădiri în exploatare.

#### 1.8.1. Metode aproximative de calcul.

La elemente de construcții alcătuite din mai multe

straturi, paralele cu fluxul termic  $q$  (fig.19), rezistența termică paralelă  $R_{||}$ , la transmita căldurii prin conducție se poate calcula conform (3,11) și STAS 6472/68 cu relația aproximativă ( 74 ):

$$R_{||} = \frac{A_I + A_{II} + A_{III} + \dots}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}} + \frac{A_{III}}{R_{III}} + \dots} \quad ( 74 )$$

în care:

-  $R_I, R_{II}, \dots$  rezistența termică a straturilor de grosime "d", în secțiunile I, II, ... paralele cu fluxul termic și având conductivitățile  $\lambda_I, \lambda_{II}, \dots$

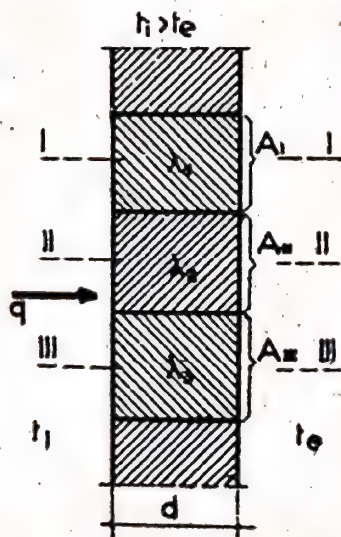


Fig.19. Rezistența termică aproximativă la elemente din straturi paralele cu fluxul termic.

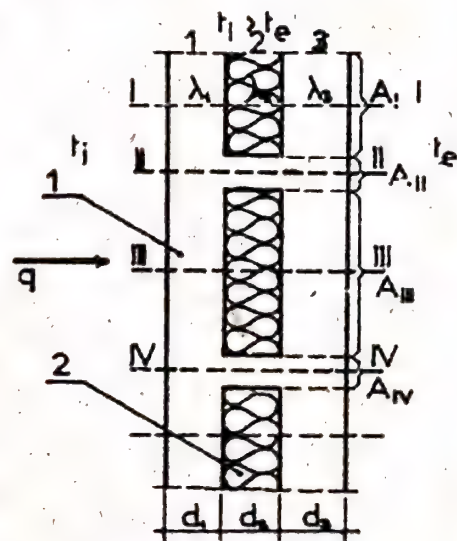


Fig.20. Rezistența termică la straturi neomogene pe două direcții: 1 - beton armat ; 2 - izolan termic.

-  $A_I, A_{II}, \dots$  suprafețele straturilor componente considerate perpendiculare pe direcția fluxului termic.



Calculul rezistenței termice pe baza acestei expresii poate conduce, în anumite cazuri, la valori supraestimate. În acest caz se poate calcula rezistența termică pe baza coeficientului mediu de transmisie termică, definit de relația:

$$\lambda_{med} = \frac{\lambda_I \cdot A_I + \lambda_{II} \cdot A_{II} + \dots}{A_I + A_{II} + \dots} \quad (75)$$

Rezistența termică perpendiculară ( $R_{\perp}$ ) a elementului compus, se poate calcula cu expresia valabilă la structuri omogene după direcția perpendiculară pe fluxul termic:

$$R_{\perp} = \frac{d}{\lambda_{med}} \quad (76)$$

Dacă între  $R_{\parallel}$  și  $R_{\perp}$  există o diferență de maxim 25 %, pe baza cercetărilor Prof. O. Vlasov, rezistența termică medie la transmisia prin conducție ( $R$ ) se poate estima cu expresia:

$$R = \frac{R_{\parallel} + 2 \cdot R_{\perp}}{3} \quad (77)$$

Rezistența termică totală rezultă:

$$R_t = \frac{1}{K_t} = R_i + R + R_e \quad (78)$$

La structuri de elemente neomogene pe două direcții cu punți (fig. 20, calculul rezistenței termice se poate obține pe baza relației aproximative (77) cunoscând că  $R_{\parallel}$  și  $R_{\perp}$  reprezintă rezistența termică la transmisia prin conducție, în ipoteza alcătuirii din elemente orizontale de suprafață  $A_I, A_{II}, A_{III}, \dots$  pentru cazul rezistenței de calcul  $R_{\parallel}$  și respectiv din straturile 1, 2, 3, perpendiculare pe direcția fluxului termic și având grosimile  $d_1, d_2, d_3$ , în cazul rezistenței de calcul  $R_{\perp}$ . Relațiile ce intervin se prezintă sub formele:

$$R_{II} = \frac{A_I + A_{II} + \dots}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}}} \quad \text{în care:} \quad R_I = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \quad (79)$$

$$R_{II} = \frac{d_1 + d_2 + d_2}{\lambda_1} \quad \lambda_1 \approx \lambda_3$$

$$R_I = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_{med}} + \frac{d_3}{\lambda_3} \quad (80)$$

iar rezistența totală :

$$R_t = R_1 + \frac{R_{II} + 2R_I}{3} + R_3 \quad (81)$$

### 1.8.2. Rezistența termică minimă în zona punții termice.

Pentru stabilirea rezistenței termice minime în zona punții termice se consideră că coeficientul maxim de transmisie termică  $K_o \max$ , în ipoteza transmisiei plane a căldurii, prezintă valoarea cuprinsă între  $K_o = K_o \min.$ , (Fig.21) valoare corespunzătoare zonei exterioare influenței punții termice și  $K'_o$ , valoare corespunzătoare lății geometrice  $b_p$  a punții termice, în ipoteza transmisiei liniare a căldurii în această zonă, conform expresiei:

$$K_o \max = K_o + \eta_p (K'_o - K_o) \quad (82)$$

Relația (82) poate fi transpusă astfel:

$$R_o \min = \frac{1}{K_o \max} = \frac{1}{K_o + \eta_p (K'_o - K_o)} \quad (83)$$

Înlocuind în expresia (83)  $K_o$  prin  $\frac{1}{R_o}$  și  $K'_o$  prin

$\frac{1}{R'_o}$  se obține:

$$R_o \min = \frac{R_o R'_o}{R_o + \eta_p (R_o - R'_o)} \quad (84)$$





### 1.8.3. Determinarea cîmpului termic plan cu ajutorul diferențelor finite.

Practic pentru cazuri particulare ale ecuației (73), se poate folosi metoda diferențelor finite, care constă în înlocuirea derivatelor cu diferențe ce definesc funcția căutată prin valorile ei în diferite puncte. În acest scop domeniul cercetat se împarte într-o rețea și fiind punctele în nodurile rețelei (fig. 22) se obține un sistem de "n" ecuații algebrice liniare, "n", fiind numărul nodurilor rețelei.

Ecuația cîmpului termic plan se poate pune sub forma (82)

$$\lambda \cdot \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} + \lambda \cdot \frac{\Delta^2 t}{\Delta y^2} = 0 \quad (86)$$

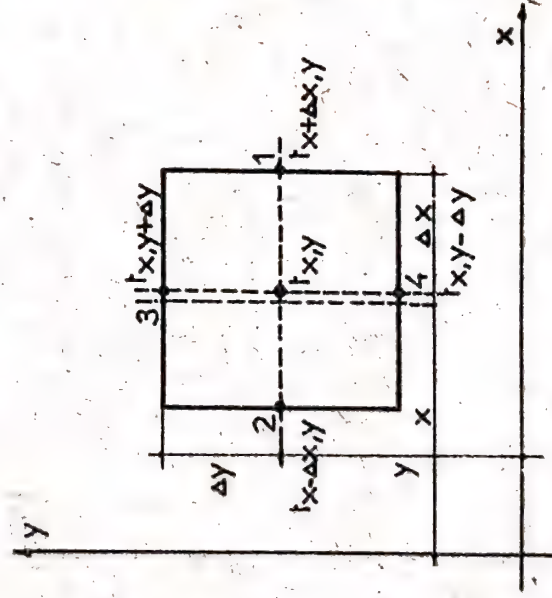


Fig. 22. Rețea de calcul cu diferențe finite la probleme plane de transmise în regim staționar.

în care:

$$\Delta_x^2 t = (\Delta_x t)_1 - (\Delta_x t)_2 = (t_{x+\Delta x,y} - t_{x,y}) - (t_{x,y} - t_{x-\Delta x,y}) = t_{x+\Delta x,y} - 2t_{x,y} + t_{x-\Delta x,y}$$

$$\Delta_y^2 t = t_{x,y+\Delta y} - 2t_{x,y} + t_{x,y-\Delta y}$$

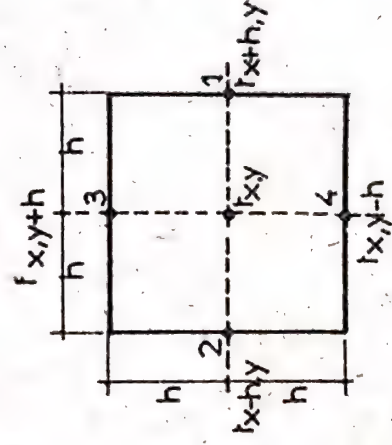


Fig. 23. Rețea de calcul cu diferențe finite cu ochiuri egale



Ecuația Laplace, în diferențe finite, la structuri omogene, rezultă:

$$\frac{t_{x+\Delta x,y} - 2t_{x,y} + t_{x-\Delta x,y}}{\Delta x^2} + \frac{t_{x,y+\Delta y} - 2t_{x,y} + t_{x,y-\Delta y}}{\Delta y^2} = 0$$

Rezolvând această ecuație în raport cu  $t_{x,y}$  se obține:

$$t_{x,y} = \frac{\Delta y^2 (t_{x+\Delta x,y} + t_{x-\Delta x,y}) + \Delta x^2 (t_{x,y+\Delta y} + t_{x,y-\Delta y})}{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \quad (87)$$

În cazul unei rețele cu ochiuri egale după ambele direcții (fig.23), considerând  $\Delta x = \Delta y = h$ , se obține:

$$t_{x,y} = \frac{t_{x+h,y} + t_{x-h,y} + t_{x,y+h} + t_{x,y-h}}{4} \quad (88)$$

Relația (88) arată că temperatura într-un punct al domeniului studiat este media aritmetică a temperaturilor punctelor vecine. Această relație exprimă echilibrul termic al unui element din câmpul considerat omogen, cu coeficientul de conductivitate și coordonate  $x, y$ .

În cazul pereților din 2 materiale diferite, continuitatea lui este întreruptă. Temperatura într-un punct al rețelei (fig.24) în acest caz este dată de relațiile (89 și 90)

$$t_{x,y} = \frac{\lambda_{x,y,x+h} \cdot t_{x+h,y} + \lambda_{x,y,x-h} \cdot t_{x-h,y} + \lambda_{x,y,y+h} \cdot t_{x,y+h} + \lambda_{x,y,y-h} \cdot t_{x,y-h}}{\lambda_{x,y,x+h} + \lambda_{x,y,x-h} + \lambda_{x,y,y+h} + \lambda_{x,y,y-h}} \quad (89)$$

$$t_{x,y} = \frac{(h_1 + h_3)(\lambda_{x,y,y-h_4} \cdot t_{x,y+h_4} + \lambda_{x,y,y+h_2} \cdot t_{x,y+h_2}) + (h_2 + h_4)(\lambda_{x,y,x-h_3} \cdot t_{x-h_3,y} + \lambda_{x,y,x+h_1} \cdot t_{x+h_1,y})}{(h_1 + h_3)(\lambda_{x,y,y-h_4} + \lambda_{x,y,y+h_2}) + (h_2 + h_4)(\lambda_{x,y,x-h_3} + \lambda_{x,y,x+h_1})} \quad (90)$$

Relația (90) este valabilă în cazul utilizării unei rețele cu dimensiunile laturilor inegale (fig.25).

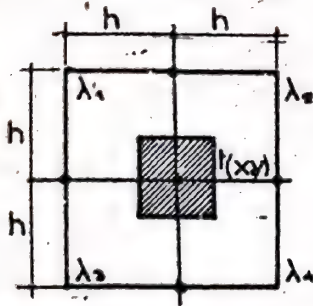


Fig.24. Rețea de calcul cu diferențe finite la structuri neomogene.

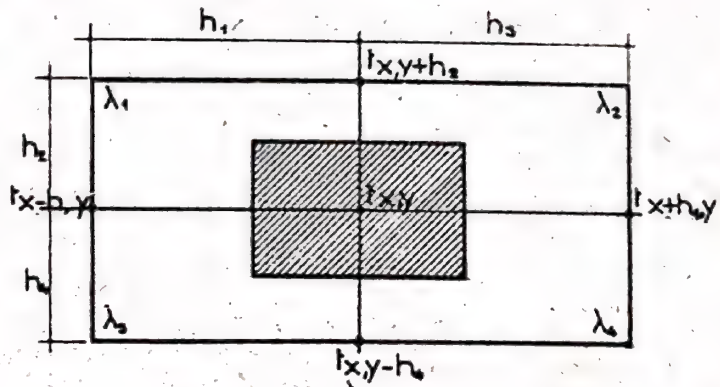


Fig.25. Rețea de calcul cu diferențe finite la structuri neomogene cu ochiuri neegale.

În expresiile de mai sus s-a notat:

$\Delta_{xy, x-h}$  ;  $\Delta_{xy, x+h}$  ;  $\Delta_{xy, y-h}$  ;  $\Delta_{xy, y+h}$   
coeficientul de permeabilitate termică la trecerea căldurii din punctul  $xy$  la cele patru puncte vecine:

-  $h_1, h_2, h_3, h_4$ , pasurile rețelei față de axele  $x, y$ .

Condițiile la limită în diferențe finite sînt următoarele:

- Temperatura aerului interior și exterior constante (Dirichlet), care se exprimă  $t_{i,e} = C$ .

- Fluxul de căldură transmis prin convecție la suprafața interioară și exterioară a elementului de construcție este egal cu fluxul de căldură transmis prin conducție pe grosimea  $h$  a pasului rețelei (condiția Fourier), adică :

$$\lambda \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{h} = \alpha_i \cdot (t_i - \theta_i) \text{ și } \lambda \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{h} = \alpha_e (\theta_e - t_e)$$



de unde:

$$\bar{\theta}_i = \frac{\alpha_i \left(1 + \alpha_e \frac{h}{\lambda}\right) \cdot t_i + \alpha_e \cdot t_e}{\alpha_i \left(1 + \alpha_e \frac{h}{\lambda}\right) + \alpha_e} ; \bar{\theta}_e = \frac{\alpha_e \left(1 + \alpha_i \frac{h}{\lambda}\right) \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_i}{\alpha_e \left(1 + \alpha_i \frac{h}{\lambda}\right) + \alpha_i} \quad (91)$$

Schimbul de căldură prin conducție pe suprafețele transversale extreme ale elementului de construcție este nul (condiția Neumann), ceea ce presupune luarea în considerare a unui număr de noduri suficient de mare pînă la limitele sondei de influență a punții termice unde liniile de flux termic sînt perpendiculare pe suprafața elementului.

Pe baza legii echilibrului termic, se scriu ecuațiile prin diferențe finite pentru fiecare nod al rețelei. Într-o primă aproximație, se consideră temperaturile pentru câteva secțiuni caracteristice, considerînd problema unidirecțională în ce privește transmiterea căldurii și prin interpolare se deduc temperaturile pentru celelalte ochiuri ale rețelei. Valorile exacte ale temperaturilor și liniile izoterme se obțin după o serie de aproximații succesive ale ecuațiilor cu diferențe finite, continuîndu-se operațiile pînă la aproximație dorită.

#### 1.8.4. Modelarea matematică și instalații analogice electrice.

Fenomenele din natură sînt în strînsă dependență unul de altul și toate au la bază materia în mișcare, lege generală a universului.

Fenomenele termice, electrice, hidraulice, în diversitatea formelor sub care se prezintă, au trăsături comune, cauzate de legile generale ale mișcării.

În lucrarea sa "Materialism și empiriocriticism" V.I. Lenin atrăgea atenția, într-o surprinzătoare analogie a ecuațiilor diferențiale, privind diferitele domenii ale fenomenelor.

Cu alte cuvinte fenomene fizice din diferite domenii conduc la probleme care se rezolvă matematic prin aceeași ecuație.

Ne propunem să analizăm următoarele fenomene:

a. Trecerea căldurii printr-o bară de Cu datorită conductibilității sale termice.

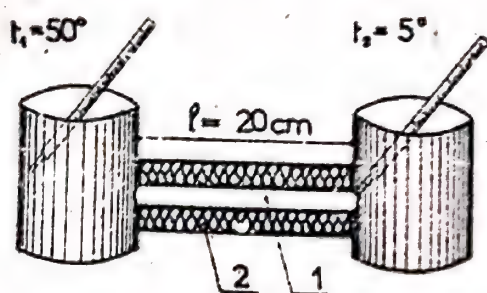


Fig. 26. Transmisia căldurii prin conductivitate termică.

1- bară cupru; 2- material termoizolant.  $A = 1 \text{ cm}^2$ ;  $l = 20 \text{ cm}$ ,  
 $t_1 = 50^\circ \text{C}$ ;  $t_2 = 5^\circ \text{C}$ ;  $T = 60 \text{ min.}$ ;

$$\frac{Q}{T} = \frac{\Delta t}{R_T} \cdot T$$

rezistența termică fiind  $R_T$ , funcție de dimensiunile barei și conductivitatea termică specifică a materialului din care este alcătuită bara, e dată de expresia:

$$Q_T = \frac{\Delta t}{R_T} \cdot T \quad (92)$$

În cunoștințele datelor numerice ale experienței

$Q_T = 108 \text{ calorii.}$

Între un vas cu apă fierbinte, fig. 26, la  $t_1 = 50^\circ \text{C}$  și al doilea vas cu apă rece 2, la  $t_2 = 5^\circ \text{C}$ , se aștează timp de 60 minute, o bară de cupru, cu capetele în cele două vase, având  $l = 20 \text{ cm}$ ,  $A = 1 \text{ cm}^2$ .

Suprafața laterală a barei de cupru este acoperită cu material termoizolant. Cantitatea de căldură  $Q$ , ce trece prin bară, în calorii, pentru diferența de temperatură  $t = t_1 - t_2$ , în timpul  $T$ ,



b. Filtrarea apei sub presiune printr-un tub cu nisip.

sip.

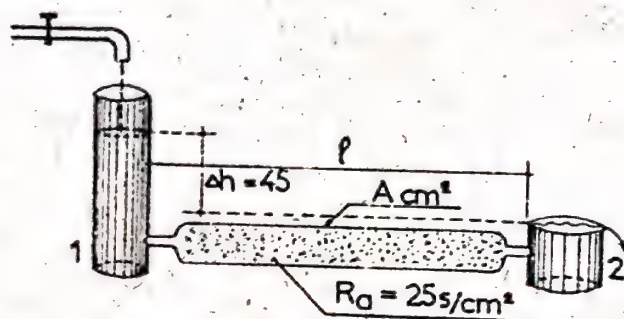


Fig.27. Filtrarea apei printr-un la  $\Delta h = 45$  cm.

tub cu nisip.

Fie vasele 1 și 2,

fig.27, legate între ele printr-un tub plin cu nisip. In vasul 1 se toarnă permanent apă, astfel ca diferența de nivel dintre cele 2 vase să se mențină la  $\Delta h = 45$  cm.

Rezistența hidrolică a tubului cu nisip,  $R_a$  proporțională cu lungimea

" $l$ " a tubului și invers proporțională cu aria " $A$ " a secțiunii transversale este calculată și egală cu  $R_a = 25 \text{ s/cm}^2$ .

Cantitatea de apă ce se scurge în vasul 2, în timpul  $T$  minute, se calculează cu relația:

$$Q_a = \frac{\Delta h}{R_a} \cdot T \quad (93)$$

In condițiile numerice ale experienței,  $Q_a = 108 \text{ cm}^3$

c. Cantitatea de electricitate ce trece printr-un circuit resistiv.

Să considerăm un circuit alcătuit dintr-o sîrmă de nichel cu secțiunea  $A = 0,1 \text{ mm}^2$  și să luăm o porțiune egală cu lîm lungime. Potrivim la extremitățile sîrmei de nichel o diferență de potențial  $\Delta e = 45 \text{ V}$  și cu ampermetrul  $A$  așezat în serie, măsurăm intensitatea curentului.

Rezistența porțiunii de circuit se calculează cu

expresia:

$$R_e = \rho \frac{l}{A} \quad (94)$$

în care  $l$ , lungimea sîrmet în m,  $A$ , secțiunea sîrmet în  $\text{mm}^2$ ,  $\rho$  coeficientul de rezistență specifică electrică a nichelului. Fie  $R_e = 25 \Omega$ .

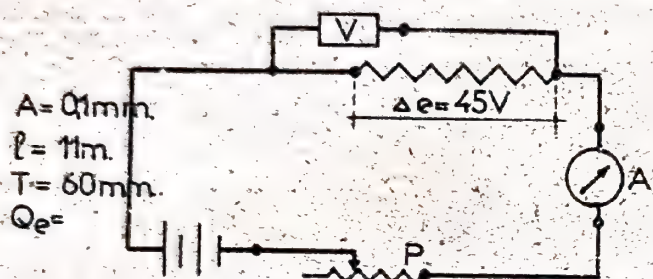


Fig. 28. Trecerea curentului electric printr-un circuit.

Cantitatea de electricitate ce trece prin circuit, timp de 60 minute, se calculează cu relația:

$$Q_e = \frac{\Delta e}{R_e} \cdot T = 208 \text{ coulombi} \quad (95)$$

Cele trei probleme au la baza rezolvării teoretice aceeași expresie matematică, deoarece cele 3 relații se deosebesc

numai prin indicele la care se referă fiecare proces.

Dintre cele 3 fenomene studiate experimental cel mai ușor se realizează circuitul electric care asigură și cea mai mare precizie la citirea intensității curentului.

Se constată că procese fizice diferite sînt descrise de legi matematice identice, iar calculul se poate înlocui prin măsurători pe model.

Pe cale experimentală, pe un model ușor de realizat în cadrul unui fenomen fizic, putem afla soluția unei probleme din cadrul altui fenomen fizic, cu condiția ca cele două fenomene să fie descrise de aceeași ecuație diferențială.

Identitatea exprimării matematice a fenomenelor analoge permite transpuneri utile pentru realizarea unor dispoziții



ve și instalații experimentale la care soluția ecuațiilor diferențiale, bazate pe coordonate continue sau discrete se obține prin măsurători de parametri, ușor accesibile laboratoarelor.

Modelul supus determinărilor se ține fizic, când este de aceeași natură cu obiectul studiat și analogic când este de natură fizică diferită față de original.

Modelarea analogică se realizează sub formă de analogii directe ( în care modelul păstrează asemănare geometrică cu domeniul modelat) și analogii indirecte sau omologice ( în care modelul nu mai este geometric asemenea cu domeniul modelat) și mixte ( în care sînt utilizate ambele posibilități).

#### 1.8.5. Metoda analogiilor electrice pentru determinarea cîmpului termic.

Dificultățile matematice privind soluționarea ecuațiilor diferențiale care exprimă fenomenele termice, în tratarea lor ca probleme în anumite condiții la limită, au condus la metode noi cu aplicații importante în fizica tehnică. Aceste metode denumite analogice, pleacă de la constatarea că fenomene fizice diferite se exprimă matematic prin aceleași ecuații diferențiale, integrale sau algebrice.

Cerștarea caracteristicilor termice ale elementelor de construcție pe baza analogiilor electrice este folosită în Franța, U.R.S.S., etc. În R.S. România această metodă a fost abordată și dezvoltată în cadrul catedrei de Construcții de la Institutul Politehnic Iași (6,7,8,9,10).

În cazul analogiilor directe se are în vedere forma potențială a fluxului termic, după Fourier:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{d}{\lambda} \cdot \frac{1}{S_m}} = \frac{\Delta t}{R} \quad (96)$$

în care:

- $\Delta t$ , diferența de temperatură ;
- $\delta$ , grosimea peretelui ;
- $S_m$ , suprafața medie a elementului prin care se transmite căldura;
- , coeficientul de conductivitate termică a elementului de construcție;
- $R$ , rezistența termică a peretelui la transmiterea căldurii prin conducție.

Ecuația (96) prezintă o analogie completă cu ecuația intensității curentului electric continuu ce traversează o rezistență:

$$I = \frac{\Delta V}{\frac{\rho_e}{\sigma_e} \cdot \frac{l}{S_m}} = \frac{\Delta V}{R_e} \quad (97)$$

în care:

- $I$ , curentul adică cantitatea de electricitate în unitatea de timp;
- $\Delta V$ , căderea de potențial de-a lungul rezistenței electrice  $R_e$  ;
- $\rho_e$ , lungimea conductorului;
- $\sigma_e$ , coeficientul de conductivitate electrică ;
- $S_m$ , mărimea medie a secțiunii drepte a conductorului;
- $R_e$ , rezistența electrică a circuitului.

În figura 29 se prezintă schema electrică a instalației de analogie directă, iar în figura 30 vedere generală a modelului electric în cuvă cu electrolit folosit la determinarea conductivității termice a cărămizilor și blocurilor ceramice cu găuri verticale (7).



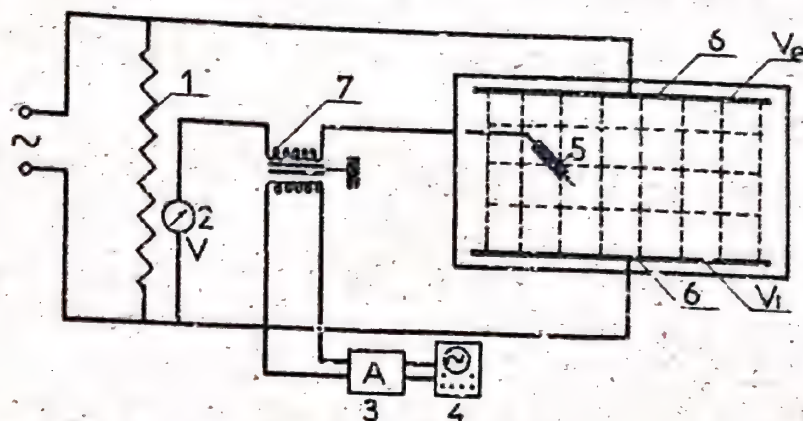


Fig. 29. Schema electrică a instalației de analogie electrică: 1- reostat; 2- voltmetru; 3- ampermetru; 4- osciloscop; 5- sondă; 6- electrozi; 7- transformator.

Luîndu-se ca bază conductivitatea termică a materialului ceramic  $\lambda_c = 0,70 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ , s-a stabilit pe baza modelării analogice electrice expresia conductivității termice echivalente în funcție de procentul de găuri verticale:

$$\lambda_{ech} = 0,65 - 0,80 p \quad (98)$$

în care:

-  $\lambda_{ech}$ , conductivitatea termică medie a materialelor ceramice cu găuri verticale, în  $\text{Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ ;

-  $p$ , procentul volumului de găuri verticale, cuprins între 0,15 și 0,40.

În cazul fenomenului termic plan, în regim staționar, ce intervine la structurile neomogene cu punți termice, analogia între fenomenul termic și electric rezultă din reprezentarea cîmpurilor, termic și electric prin ecuații diferențiale identice (99 a și 99 b) :

Fenomenul termic

Fenomenul electric

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) = 0$$

(99 a)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( c_e \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( c_e \frac{\partial V}{\partial y} \right) = 0 \quad (99 b)$$



în care:

- $x, y$ , coordonate spațiale
- $t$ , diferența de temperatură;
- $\lambda$ , conductivitate termică;
- $\frac{dt}{dx}$ , gradient termic;
- $q = \lambda \cdot \frac{t}{x} ds$  fluxul termic;
- $t = \text{const}$ , linie izotermă
- $x, y$  coordonate spațiale
- $V$ , potențial electric;
- $c_e$ , conductibilitate electrică
- $\frac{dV}{dx}$  gradient electric;
- $q = c_e \frac{dV}{dx} ds$ , flux electric;
- $V = \text{const}$ , linie echipotențială

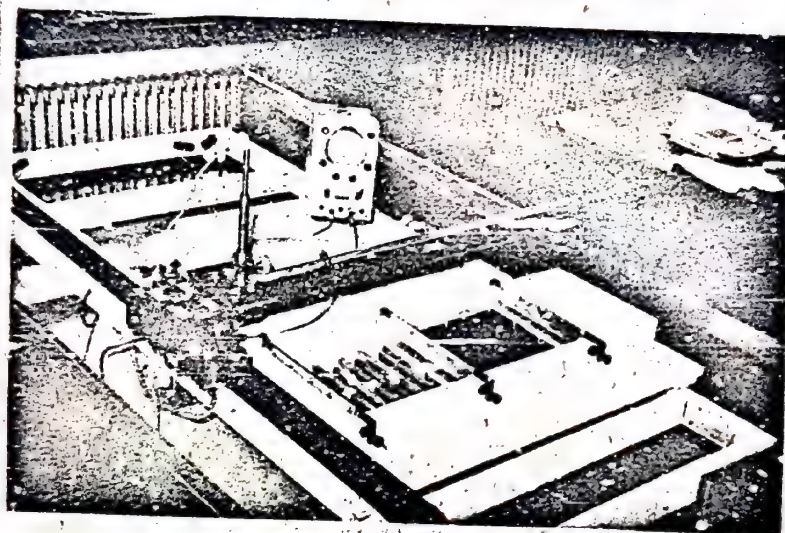


Fig. 30. Cava cu electrolit.

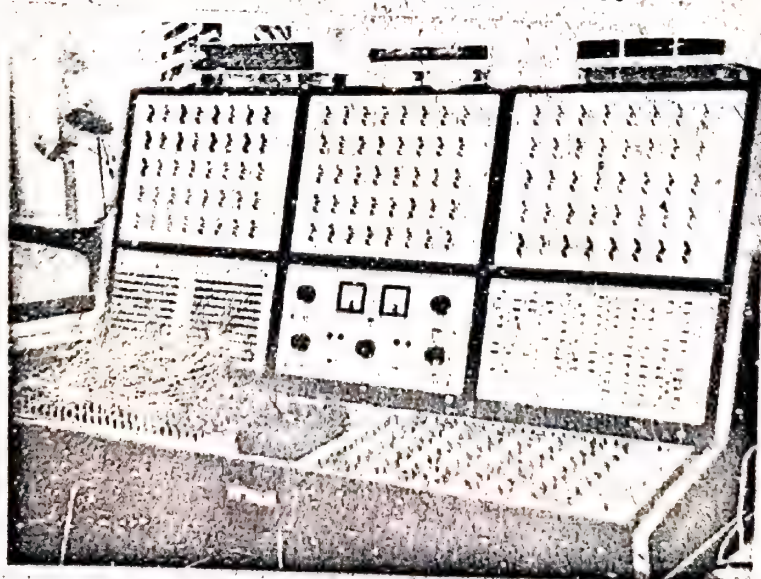


Fig. 31. Instalație analogică cu rezistențe și capacități.



În cazul cînd  $\lambda$  și respectiv  $c_e$  prezintă valori constante, ecuațiile analoge sînt (100) :

$$\lambda \cdot \frac{d^2 t}{dx^2} + \lambda \cdot \frac{d^2 t}{dy^2} = 0 ; \quad C_e \cdot \frac{d^2 V}{dx^2} + C_e \frac{d^2 V}{dy^2} = 0 \quad (100)$$

Ecuațiile (100) stau la baza modelelor analogice indirecte realizate cu rezistențe electrice, folosindu-se datele inițiale obținute prin împărțirea domeniului studiat în rețele finite.

Integrarea pe cale electrică a ecuațiilor cu diferențe finite presupune, în cazul fenomenelor termice, respectarea condițiilor la limită indicate în 1.4. În fig. 31 se prezintă vederea generală a instalației analogice electrice cu rezistențe variabile construită în laboratorul de Clădiri Civile de Institutul Politehnic Iași (9) și în fig. 32 schema electrică a instalației.

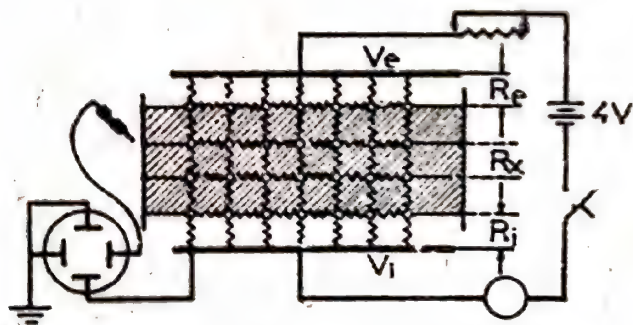


Fig. 32. Schema electrică a modelelor electrice în rețea.

Valorile temperaturilor în nodurile rețelei modelate rezultă pe baza expresiei:

$$t = t_e + \frac{V_i - V_o}{100} \cdot V \quad (101)$$

făcînd să corespundă la diferența totală de temperatură  $t_i - t_e$ , diferența de potențial electric  $V_i - V_o$ .

Pentru reprezentarea analogică a ecuațiilor cu diferențe finite în modelele indirecte cu rezistențe electrice se are în vedere relația lui Kirchhoff (fig. 33):

$$\sum_{i=1}^n I_{oi} = \sum \frac{V_i - V_o}{r_{oi}} = 0 \quad (102)$$

în care:

- $R_{0i}$ , rezistența electrică între nodurile 0 și i;
- $I_{0i}$ , intensitatea curentului între nodurile 0 și i;
- $V_i - V_0$ , diferența de potențial între nodurile 0 și i.

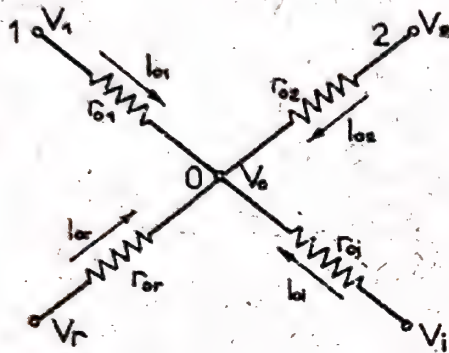


Fig. 33. Mod într-o rețea electrică cu rezistențe.

Pentru a exemplifica metoda de adoptat în vederea determinării caracteristicilor termice în zona punților, se consideră structura din anexa IV, alcătuită din stâlpi de beton armat de 10 . 25 cm, înglobat în zidărie din blocuri ceramice cu 40% găuri verticale, de 25 cm, grosime (17). Caracteristicile termofizice ale materialelor se consideră pentru zidărie din blocuri ceramice  $\rho = 1350$

Kcal/m<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,50$  Kcal/m.h.<sup>0</sup>C și beton,  $\rho = 2600$  Kcal/m<sup>3</sup>,  $\lambda = 1,40$  Kcal/m.h.<sup>0</sup>C. Rezistența la schimbul superficial de căldură se ia  $R_i = 0,143$  m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C/Kcal și la suprafața exterioară  $R_e = 0,05$  m<sup>2</sup>.h.<sup>0</sup>C/Kcal. Cîmpul termic se determină pentru condițiile climatice din zona II,  $t_e = -15^0$ C și pentru  $t_i = +20^0$ C.

Se consideră o rețea de calcul cu ochiul de 5 cm grosime pentru care se calculează valorile rezistențelor termice:

$$r_i = r_{1-2} = r_{9-10} = \dots = r_{41-42} = \frac{1}{\alpha_i \cdot \Delta x} = \frac{0,143}{0,05} = 2,86.$$

$$r_e = r_{7-8} = r_{15-16} = \dots = r_{47-48} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \Delta x} = \frac{0,05}{0,05} = 1,00.$$

$$r_b = r_{2-3} = r_{3-4} = \dots = r_{6-7} = \frac{\Delta y}{\Delta x \cdot \lambda_b} = \frac{0,05}{0,05 \times 1,40} = 0,72.$$

$$r_z = r_{18-19} = r_{19-20} = \dots = r_{22-23} = \frac{\Delta y}{\Delta x \cdot \lambda_z} = \frac{0,05}{0,05 \times 0,50} = 2,00.$$



$$r_{zi} = r_{10-18} = r_{18-26} = \dots = r_{34-42} = \frac{\Delta x}{0,5 \cdot 0,05 \cdot 0,5} = 400.$$

$$r_{bi} = r_{2-10} = \frac{\Delta x}{0,5 \cdot \Delta y \cdot \lambda_b} = \frac{0,05}{0,5 \cdot 0,05 \cdot 1,40} = 1,44.$$

$$r_{ze} = r_{15-20} = \dots = r_{39-47} = 4,00.$$

$$r_{be} = r_{7-15} = 1,44$$

Pentru fișia de contact beton-zidărie, se calculează coeficientul de permeabilitate termică  $\wedge$  pentru zidărie și beton:

- zidărie:

$$\wedge_{10-11}^z = \wedge_{11-12}^z = \dots = \wedge_{14-15}^z = \frac{0,5 \Delta x \cdot \lambda_z}{\Delta y} = \frac{0,5 \cdot 0,05 \cdot 0,5}{0,05} = 0,25$$

- beton:

$$\wedge_{10-11}^b = \wedge_{11-12}^b = \dots = \wedge_{14-15}^b = \frac{0,5 \Delta x \cdot \lambda_b}{\Delta y} = \frac{0,5 \cdot 0,05 \cdot 1,40}{0,05} = 0,70$$

Rezistența la transmisia termică rezultă:

$$r_{bz} = r_{10-11} = r_{11-12} = \dots = r_{14-15} = \frac{1}{\wedge} = \frac{1}{0,25} = 1,05$$

Rezistențele electrice  $r'$  în ohmi, se calculează cu relația  $r' = m \cdot r$ , în care "m" este un coeficient ce depinde de domeniul de rezistențe electrice ce se pot stabili cu instalația de modelare analogică de care se dispune. Pentru instalația laboratorului de clădiri, cu rezistențe în decade în domeniul  $10 \dots 10.000 \Omega$ ,  $m = 1000$ , pentru care s-au obținut valorile rezistențelor electrice:

$$r'_i = 2860 \Omega; r'_e = 1000 \Omega; r'_b = 720 \Omega; r'_z = 2000 \Omega$$

Prin măsurarea potențialelor electrice se obțin valorile temperaturilor din anexa IX, care permite cunoașterea liniilor izoterme pe suprafața interioară  $T_i$  și exterioară  $T_e$ .

Folosindu-se relațiile (70), (71), (72) s-au determinat și valorile coeficienților  $K$ , maxia  $2,10 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  și minia  $1,7 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  și respectiv valoarea coeficientului me-

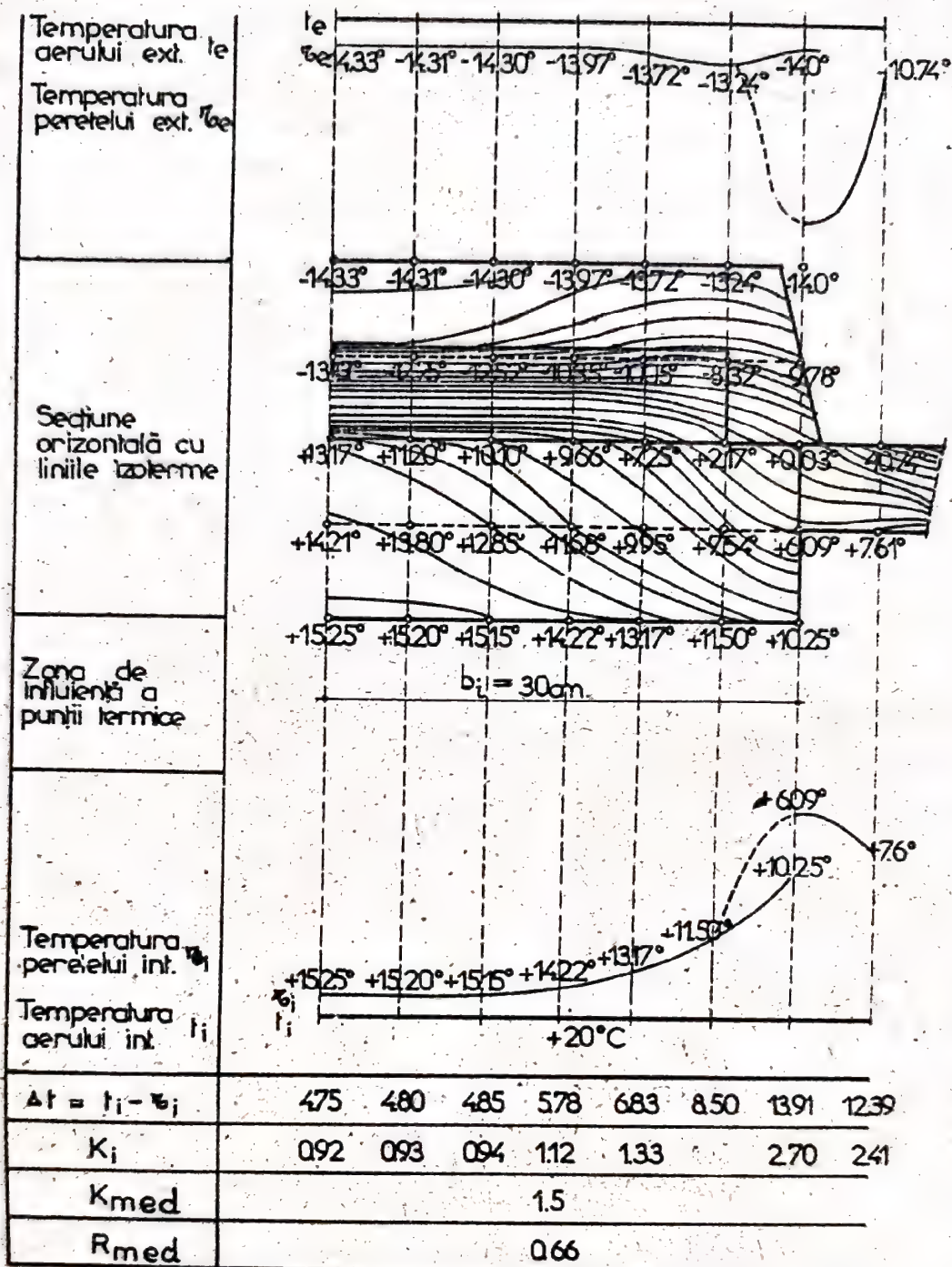


Fig. 34. Câmpul termic în zona punții la o fereastră.

diu de transmisie termică totală  $K_{med} = 1,57 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  sau valoarea rezistenței medii totale la transmiterea căldurii  $R_{med} = 0,585 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/Kcal}$ . Lățimea totală a zonei de influență  $b_i$  a punții termice a rezultat 0,80 m.

Pe această bază se poate determina câmpul termic în zona



punților termice la ferestre (fig.34), colțuri, ramificații, intersecții de planșee și pereți.

Pentru calculul pierderilor de căldură la structuri cu punți se poate folosi ipoteza variației liniare a temperaturii în zona punților (fig.35), ceea ce simplifică calculele termice în cazul structurilor neomogene de pereți.

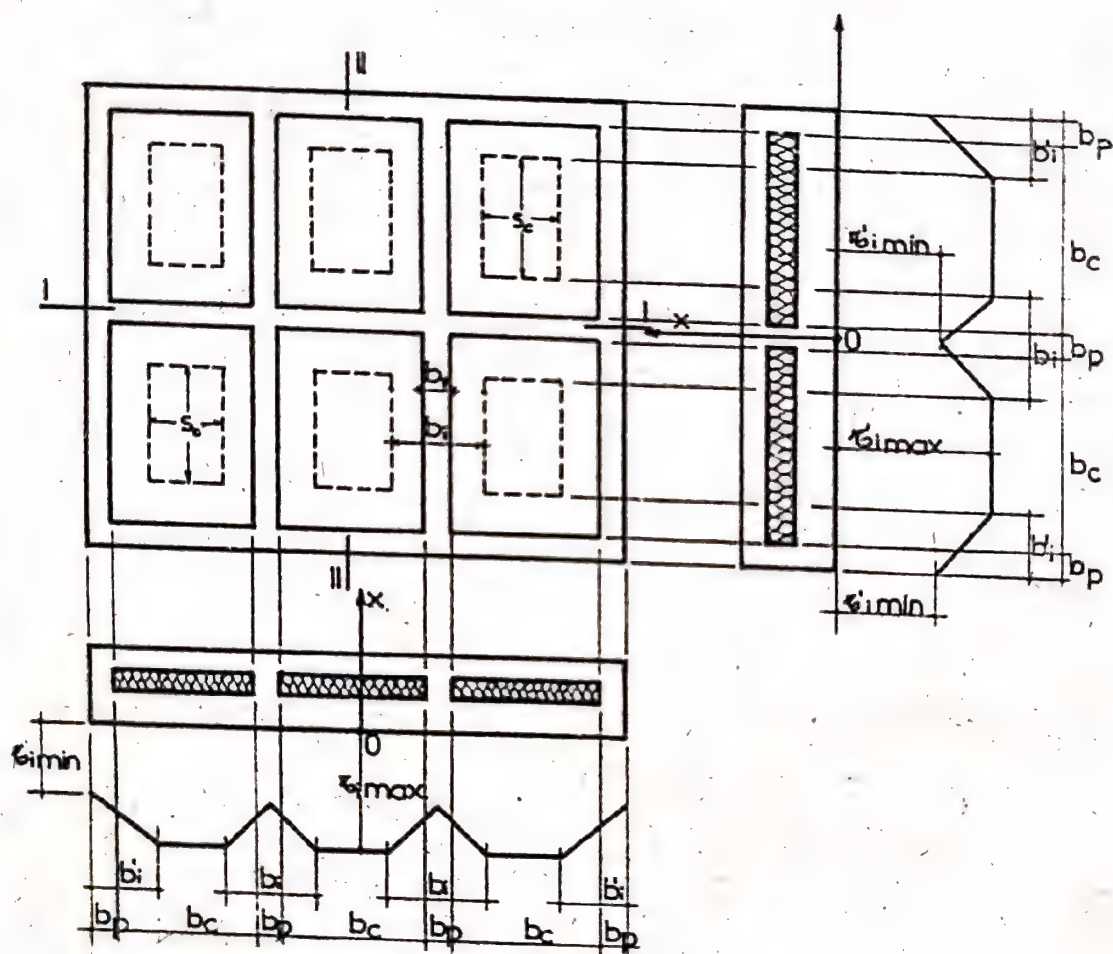


Fig.35. Calculul pierderilor de căldură la structuri cu punți.

Folosind valoarea coeficientului mediu de transmisie termică se pot estima pierderile de căldură, la structuri cu punți, cu ajutorul expresiei:

$$Q = [S_p \cdot k_{med} + (S - S_p) \cdot k_{min}] \cdot \Delta t. \quad (103)$$

în care:

-  $S$ , suprafața totală a elementului de construcție, în  $m^2$ ;

-  $S_p$ , suprafața zonei cu transmisie termică neuniformă, calculată luând în considerare lățimea zonei de influență a punții  $b_1$ , determinată prin analogie electrică și  $l_p$  lungimea punții termice, în m;

-  $K_{med}$  și  $K_{min}$ , coeficienții mediu și minim de transmisie termică în zona punții;

-  $\Delta t$ , căderea de temperatură, conform condițiilor din Republica Socialistă România.

#### 1.8.6. Metode experimentale la construcții în exploatare.

Pentru cunoașterea și verificarea comportării termice a clădirilor cu structuri noi de construcții, a apărut necesitatea determinării cîmpului termic la clădiri în exploatare (6).

Determinarea cîmpului termic la construcții în exploatare implică următoarele:

- aparatură pentru măsurarea temperaturilor și etalonarea ei;

- măsurarea temperaturilor;

- trasarea izotermelor și a cîmpului termic.

Pentru înregistrarea temperaturii aerului interior și exterior se folosesc termografe înregistratoare (fig.36) și pentru înregistrarea temperaturii suprafeței elementelor de construcție, potențiometri cu mai multe canale (fig.37). Măsurarea locală a temperaturilor se poate realiza cu termocuple Cu-const. realizate din sîrmă de Const. cu  $d = 0,05 \dots 0,5$  mm grosime și de Cu de  $0,4 \dots 0,5$ , luînd în considerare fenomenul termoelectric, ce se bazează pe faptul că la suprafața limită a două metale unite perfect (prin lipire cu cositor, sudare sau argintare) există



o tensiune de contact ce variază cu temperatura.

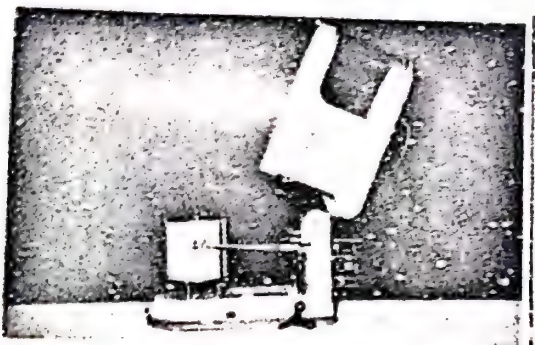


Fig. 36. Termograf săptămânal

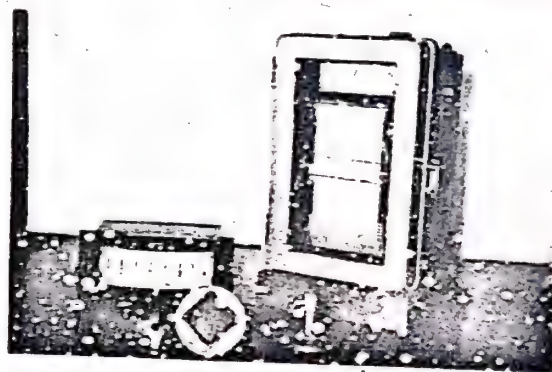


Fig. 37. Potențometre cu mai multe canale

b.

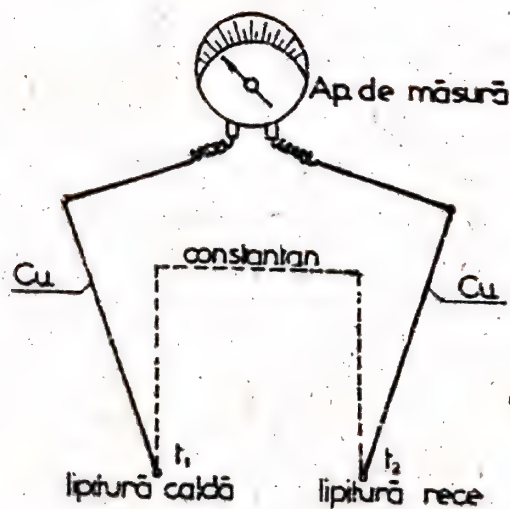


Fig. 38. Termocuple

a) Schemă. b) Montat

a.

Prin formarea unui circuit, fig. 38, dacă lipiturile  $L$  sînt la temperaturi diferite ( $t_1, t_2$ ) ia naștere un curent a cărui forță termoelectromotoare este funcție de diferența de temperatură între lipituri:  $E = f(t_1 - t_2)$ . In fig. 39 se prezintă instalația experimentală bazată pe folosirea termocupleuror,

care permite măsurarea diferenței de temperatură între elementul de construcție  $t_1$  și o temperatură de referință  $t_2$ .

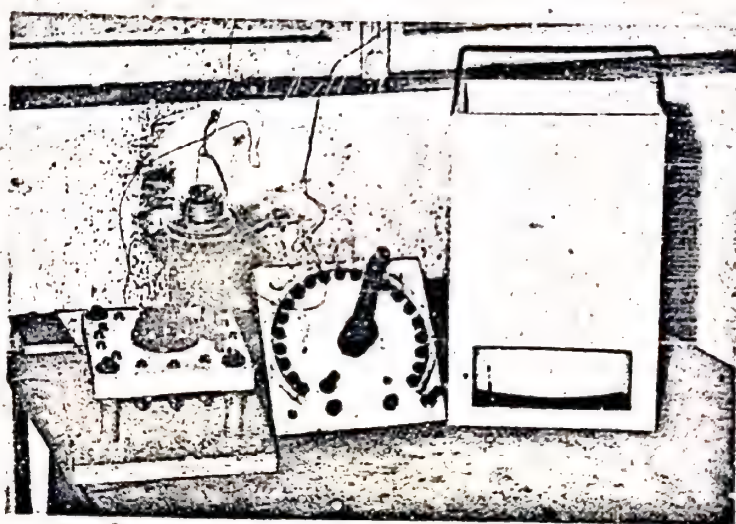
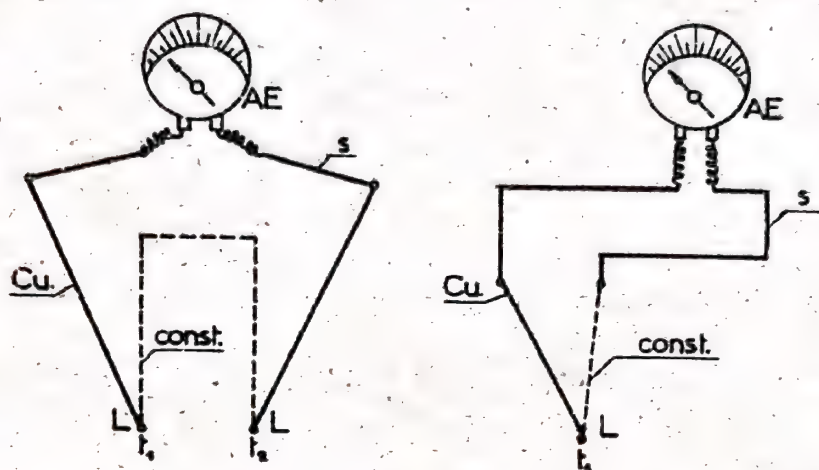


Fig. 39. Schema de montare și vedere generală a termocuplelor montate: a) conectare diferențială; b) conectare la lipitura rece; AE-Galvanometru; Cu - Cupru; Const. - constantan; s-sîrmă de conexiuni; L-lipitură sau sudură.

Variația temperaturii în timp a elementelor de construcție se poate obține prin înglobarea termocuplelor de măsurare după schema din figura 40-a, în cazul montării la execuție



și după schema din fig.40-b, în cazul instalării traductorilor după realizarea elementului de construcție. Se are în vedere în acest caz necesitatea ca termocuplul să reflecte cât mai fidel temperatura planului în care este montat, ceea ce se obține mai ușor în primul caz.

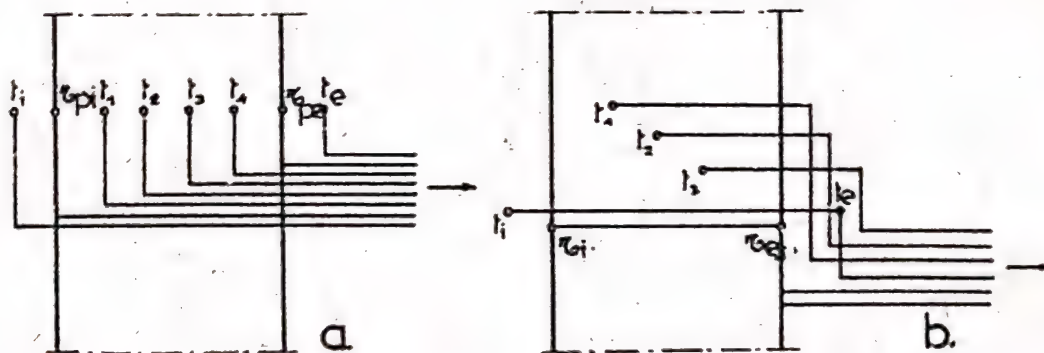


Fig.40. Montarea termocuplelor pentru măsurarea temperaturilor în elemente de construcție: a) Termocuple montate la execuția peretelui ; b) Termocuple montate după execuția peretelui ;  $\rightarrow$  spre comutator.

Folosind aceste dispozitive se pot face determinări ale câmpului termic la clădiri în exploatare, cum este cazul unui perete din panouri mari de beton armat la o clădire de locuit (fig. 40). Reprezentarea grafică a izotermelor pe suprafața interioară a elementului de construcție scoate în evidență caracterul neuniform al câmpului termic datorită neomogenității constructive, a neetanșeității învelișului și a efectului local al elementelor de încălzire.

#### 1.8.7. Transmisia căldurii prin pereți în condiții de vară.

În condiții de vară acționează asupra elementelor de construcții ( pereți și terase ), radiația solară. Radiația solară de energie  $R$  (exprimată în  $Kcal/m^2.h$ , fig.41, este parțial reflectată  $QR$ , și parțial absorbită de elementul de construcție,

$\alpha R$ , din care o parte este transmisă la interior  $\alpha_i R$  și o altă parte spre exterior  $\alpha_e R$ . Ecuația de bilanț termic este:

$$R = \rho R + \alpha R \quad \text{și deci} \quad (104)$$

$$1 = \rho + \alpha \quad (105)$$

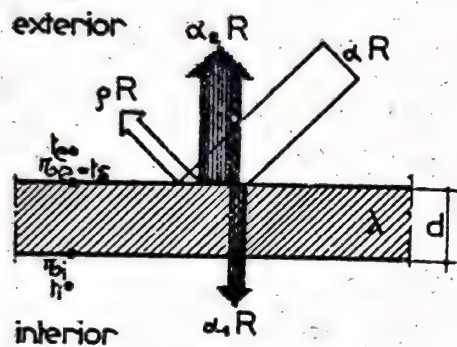


Fig. 41. Absorbția și reflexia căldurii de către elementul de construcție;  $\rho R$  - energia radiației solare incidente;  $\alpha R$  - energia radiației solare reflectată;  $\alpha R$  - energia absorbită și transmisă la interior ( $\alpha_i R$ ) și transmisă la exterior ( $\alpha_e R$ ).

Temperatura suprafeței exte-

$t_s$  a elementului de construcție, datorită efectului de radiație este superioară temperaturii aerului exterior  $t_s = t_e > t_e$ , fig. 42,  $t$  fiind temperatura aerului exterior. Energia  $\alpha R$  absorbită de către elementul exterior de construcție, perete sau terasă, este disipată spre exterior prin convecție și radiație de mari lungimi de undă și prin conducție traversând elementul de construcție spre interior.

Energia disipată spre exterior este dată de expresia:

$$t_e(t_e - t_e) \quad (106)$$

Energia transmisă spre interior se calculează cu relația:

$$q = \alpha R - \alpha_e (t_e - t_e) \quad (107)$$

Relația fluxului de căldură transmis prin conducție prin elementul de construcție este:

$$q = \frac{\lambda}{d} (t_e - t_i) \quad (108)$$



Fluxul de căldură radiat de perete, prin convecție, spre interior se prezintă sub formă:

$$q = \alpha_i (t_e - t_i) \quad (109)$$

În expresia de mai sus  $t_e$  și  $t_i$  reprezintă respectiv temperatura suprafeței interioare a elementului de construcție și temperatura aerului interior.

Punându-se în evidență rezistențele termice, în relațiile de mai sus, se obține:

$$\begin{aligned} q &= \frac{\alpha_e R}{\alpha_e} - t_e + t_i \\ q &= \frac{t_e - t_i}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{d}{\lambda}} \\ q &= \frac{t_e - t_i}{\frac{1}{\alpha_i}} \end{aligned} \quad (110)$$

Adunând numărătorii și numitorii șirurilor de fluxuri egale, rezultă:

$$q = \frac{\alpha_e R + t_e - t_i}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (111)$$

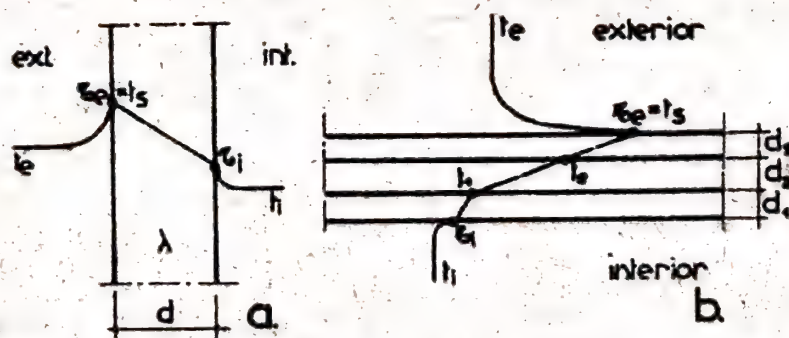


Fig.42. Temperatura suprafeței exterioare a elementului de construcție în condiții de vară. a) pereți ; b) terasă.

Termenul de la numitor exprimă rezistența totală la transmisia căldurii  $1/K$ , ceea ce permite a se scrie:

$$q = K \left[ t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} - t_i \right] \quad (112)$$

Expresia (112) este identică cu aceea obținută în absența acțiunii soarelui,  $t_e$  fiind înlocuit cu termenul  $(t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e})$ , denumit temperatură fictivă echivalentă a suprafeței exterioare și se notează cu  $t_s$ .

Dacă perețele ar fi infinit izolant termic, teoretic  $K = 0$ , iar  $q$  ar fi nul și deci

$$\alpha R - \alpha_0 (t_s - t_e) = 0 \quad (113)$$

de unde:

$$t_s = t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} = t_s \quad (114)$$

$t_s$  se poate obține măsurând cu suficientă precizie temperatura de suprafață a elementelor de construcție în condiții reale de exploatare.

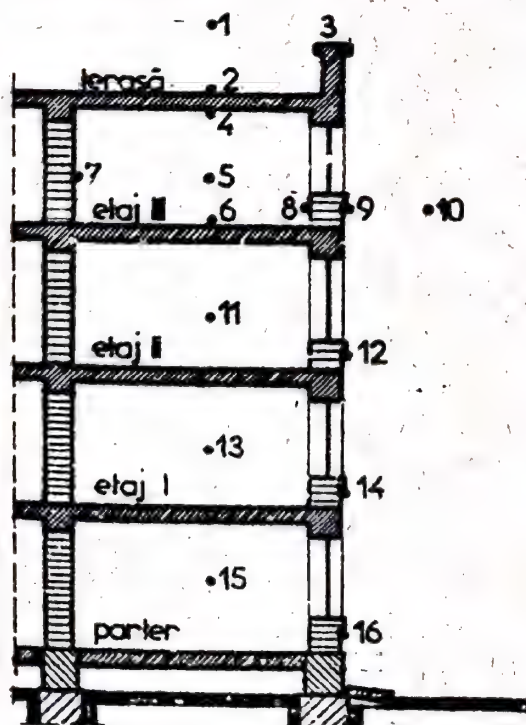


Fig. 43. Schema clădirii cu măsurarea temperaturii.

În fig. 43. se prezintă schema cu poziția punctelor de măsurare a temperaturii, în vara anului 1968, la Iași, a unei clădiri social-administrative cu P + 3 nivele. Clădirea prezintă o structură cu pereți portanți din zidărie eficientă de 30 cm grosime și terasă cu izolație din praf hidrofoab cu



rezistența termică totală  $R_0 = 1,533 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C} / \text{Kcal}$ .

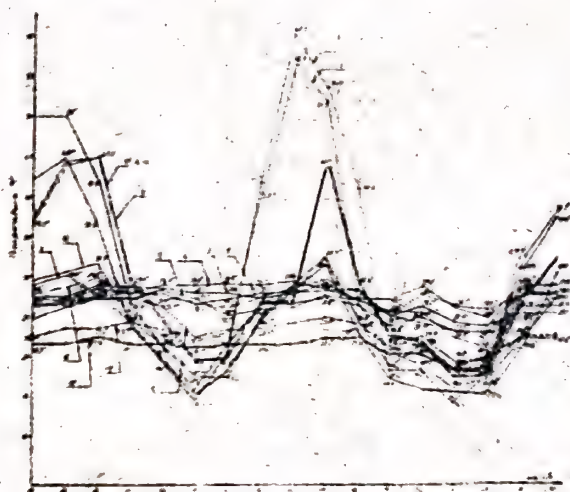


Fig. 44. Variația temperaturii unei construcții cu structură din pereți portanți din zidărie de cărămidă și terasă neagră în condiții de vară. 1- temperatura aerului exterior; 2- temperatura exterioară a terasei; 3- Temperatura aticului; 4- Temperatura tavanului terasei; 5, 11, 13, 15 - temperaturile aerului interior la etaj III, II, I, parter; 6- temperatura pardoselii la etaj III; 7- temperatura peretelui interior la etaj III; 8- Temperatura suprafeței interioare a peretelui exterior etaj III; 10- Temperatura aerului exterior; 9, 12, 14, 15 - Temperatura exterioară a peretelui exterior.

În fig. 44 se prezintă variația temperaturii aerului interior, a aerului exterior și a diferitelor puncte ale suprafețelor interioare ale elementelor de construcții, care poate fi asimilată ca o variație periodică sinusoidală.

Valorile temperaturilor aerului interior, cresc pe verticală, fig. 45, fiind maxime la ultimul nivel  $29,3^\circ \text{C}$ , în cazul terasei de culoare albă, constatându-se valori care depășesc cele admise din punct de vedere al confortului ( $24^\circ \text{C} \dots 26^\circ \text{C}$ ). Valorile temperaturilor suprafețelor exterioare ale elementelor de construc-

ție au rezultat între  $60^{\circ}\text{C}$  și  $70^{\circ}\text{C}$ . Admițind pentru  $t_s = 70^{\circ}\text{C}$ , pentru terasă neagră,  $t_{ce} = 30^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha_s = 15 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$  și considerând pentru absorbția 0,9 (pentru suprafața teraselor aproape neagră) rezultă valoarea lui  $R$  ce caracterizează radiația solară în condițiile orașului Iași.

$$70 = 30 + \frac{0,9 R}{15} ; R = \frac{600}{0,9} = 666 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

Valorile coeficientului  $\alpha$  depind de culoarea suprafeței elementului de construcție astfel:

- alb  $\alpha = 0,2 \dots 0,3$
- galben, portocaliu, roșu clar  $\alpha = 0,3 \dots 0,5$
- roșu închis, verde clar, albastru clar  $\alpha = 0,5 \dots 0,7$
- cafeniu, verde închis, albastru viu, albastru închis,  $\alpha = 0,7 \dots 0,9$
- cafeniu închis, negru  $\alpha = 0,9 \dots 1,0$

Presupunând culoarea albă pentru pereți și luând pentru  $\alpha$  valoarea medie 0,25, temperatura  $t_s$  a suprafeței exterioare a elementului de construcție fiind  $40^{\circ}\text{C}$ , rezultă astfel valoarea lui  $R$ :

$$t_s = 40 = 30 + \frac{0,25 R}{15} \quad R = 600 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

În cazul culorii albe a suprafeței exterioare a elementelor de construcție, cantitatea de radiație solară rezultă de același ordin ca și în cazul acoperișului terasă de culoare neagră.

Cunoscând că între  $\rho$  și  $\alpha$  există relația  $\rho + \alpha = 1$  rezultă că energia reflectată este 0,75  $R$  în cazul culorii deschise în comparație cu 0,1  $R$  în cazul culorii închise.

Măsurătorile de temperatură efectuate la o construc-



ție din Iași, în timp de vară cu terasă neagră, protejată prin strat de protecție cu emulsie bituminoasă a condus la amplitudini ale temperaturii suprafeței exterioare ale terasei de  $38,70^{\circ}\text{C}$ , în comparație cu valoarea de  $14,3^{\circ}\text{C}$ , în cazul terasei de culoare albă.

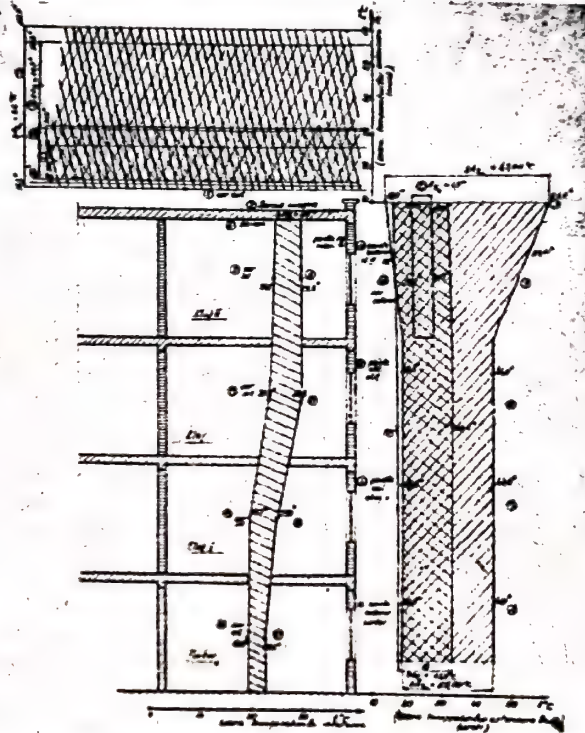


Fig.45. Acțiunea radiației solare asupra confortului termic la o clădire cu structură din ziduri portante cu terasă cu praf hidrofoab și 3 nivele. 1 - Temperatura aerului exterior ; 2 - Temperatura terasei la exterior (neagră) ; 3 - Temperatura aticului ; 4 - Temperatura tavanului terasei; 5,11,13,15 - Temperaturile aerului interior la etajele III,II,I, parter ; 8 - Temperatura peretelui exterior la interior la etaj III ; 10 - Temperatura aerului exterior ; 9,12,14,16 - Temperaturile peretelui exterior la exterior.

Culoarea albă s-a obținut prin tratarea stratului de emulsie bituminoasă cu lapte de var. Rezultă importanța practică pe care o prezintă culoarea suprafețelor exterioare ale elementelor de construcție asupra diferențelor temperaturilor totale la care sînt supuse și asupra confortului încăperilor, în special la ultimul etaj.

### 1.8.8. Transmisia căldurii prin ferestre în condiții de vară.

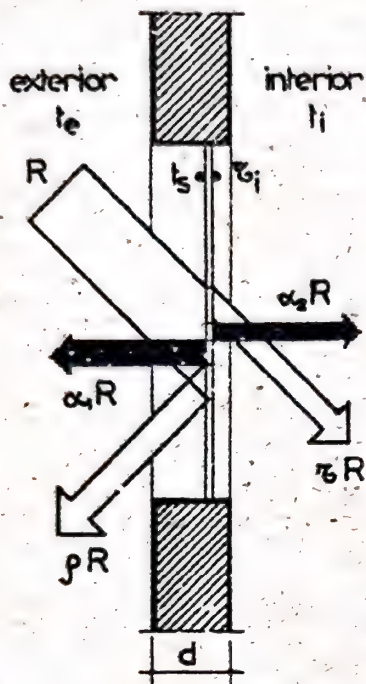


Fig.46. Transmisia căldurii prin ferestre;  $R$  - radiația solară incidentă;  $\alpha_1 R$  energia absorbită și radiația la exterior;  $\alpha_2 R$  - energia absorbită și radiația la interior;  $\tau R$  - energia solară reflectată;  $\tau_2 R$  - energie solară transmisă prin transparență.

În cazul ferestrelor intervin fenomene de absorbție, reflexie și de transparență a energiei datorită radiației solare, ce caracterizează formele energiei radiante, exprimate prin coeficienții de absorbție  $\alpha$ , reflexie  $\rho$ , și transparență  $\tau$ , fig.46. Valorile acestor coeficienți pentru sticla obișnuită sînt egali respectiv ca 7%, 8% și 85%.

Schimburile termice ce intervin în cazul ferestrelor cuprind:

- Reflexia spre exterior a unei părți din energia radiației solare, exprimată prin termenul  $\rho R$ .

- Absorbția radiației solare de către fereastră, fenomen similar peretelui opac, exprimată prin termenul  $\alpha R$ , din care  $\alpha_1 R$  este disipată spre exterior  $\alpha_2 R$  este disipată spre interior.

Fluxul termic ce pătrunde în încăperea se poate exprima astfel:

$$q = k \left[ \left( t_e + \frac{\alpha_1 R}{\alpha_e} \right) - t_i \right] \quad (115)$$



- Restul energiei termice datorită radiației solare  $\Sigma R$  ( în proporție de 85 % în cazul sticlei transparente obișnuite) traversează fereastra și după câteva reflexii parțiale succesive este practic absorbită de pereți și obiectele din încăpere.

Fluxul termic total care pătrunde în încăpere poate fi exprimat astfel cu ajutorul expresiei:

$$q = k \left[ \left( \frac{t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e}}{\alpha_e} \right) - t_i \right] + \Sigma R \quad (116)$$

Relația 116 se poate pune și sub forma:

$$q = \left( \frac{\alpha R}{\alpha_e} + \Sigma \right) R + k (t_e - t_i) \quad (117)$$

Factorul  $\frac{\alpha R}{\alpha_e} + \Sigma$  este denumit factorul solar al ferestrei și se notează cu  $S$ . Relația 117 se mai poate pune astfel sub forma:

$$q = SR + R (t_e - t_i) \quad (118)$$

Pentru sticla obișnuită valoarea factorului solar  $S$ , este egală cu 0,86. Folosind sticla colorată factorul solar  $S$  poate coborî la valorile 0,49..0,66, iar  $\Sigma$  între 0,21 și 0,50.

În cazul folosirii stourilor lamelare, valoarea factorului solar scade la 0,17, iar prin folosirea perdelelor ușor transparente la 0,11, ceea ce demonstrează eficiența unor măsuri pentru limitarea aportului de căldură prin radiație, în condiții de vară și asigurarea confortului la încăperile cu orientarea vest și sud și sud-vest.

## 2. Transmisia căldurii prin conducție în regim nestaționar.

În regim nestaționar, densitatea fluxului de căldură din stratul de considerat este variabilă și se determină luînd

diferențiala lui  $q$  în raport cu  $x$ , ceea ce conduce la expresia:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (119)$$

Variația densității fluxului de căldură depinde de capacitatea de acumulare sau de cedare a căldurii de către materialul de construcție din care este alcătuit elementul. Cantitatea de căldură  $dq$ , necesară pentru creșterea temperaturii stratului  $dx$ , cu  $dt$  grade, în intervalul de timp  $dT$ , este proporțională cu capacitatea de acumulare termică a stratului și cu variația temperaturii în timp, conform relației:

$$dq = -c \cdot \varrho \cdot dx \cdot \frac{\partial t}{\partial T} \quad (120)$$

în care:

-  $c$ , coeficientul de căldură specifică a materialului în  $\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}$  sau  $\text{W/Kg}^\circ\text{C}$ , având valoarea pentru materiale curențe  $0,22 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$  sau  $920 \text{ W/Kg}^\circ\text{C}$ ;  $\varrho$ , greutatea specifică aparentă a materialului în  $\text{kgf/m}^3$ .

Din relația 120 rezultă:

$$\frac{dq}{dx} = -c \cdot \varrho \cdot \frac{\partial t}{\partial T} \quad (121)$$

Variația fluxului de căldură se datorește acumulării termice în stratul considerat, astfel încât luând în considerare relațiile (119) și (120), se poate scrie:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = \frac{\lambda}{c \cdot \varrho} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (122)$$

în care:

-  $a$ , coeficientul de difuzivitate termică în  $\text{m}^2/\text{h}$ .

Expresia (122) caracterizează variația temperaturii în elementele de construcție, în regim nestaționar, în cazul transmisiei căldurii după o direcție.



Significația fizică a coeficientului "  $\alpha$  " constă în caracterizarea vitezei de egalare a temperaturii în diferite puncte ale mediului în care are loc propagarea căldurii.

În cazul fenomenelor termice plane caracterizate prin transmisia căldurii pe două direcții, ecuația căldurii se prezintă astfel:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (123)$$

La transmisia căldurii după trei direcții, în spațiu, ecuația privind variația temperaturii în timp, în regim nestaționar se prezintă astfel:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (124)$$

Cunoașterea caracteristicilor termice a elementelor de construcție, în regim nestaționar, presupune integrarea ecuațiilor (122), (123), (124) în condiții la limită ce interesează practic. Deoarece rezolvarea pe cale analitică a integrării acestor ecuații este imposibilă, se folosesc următoarele posibilități:

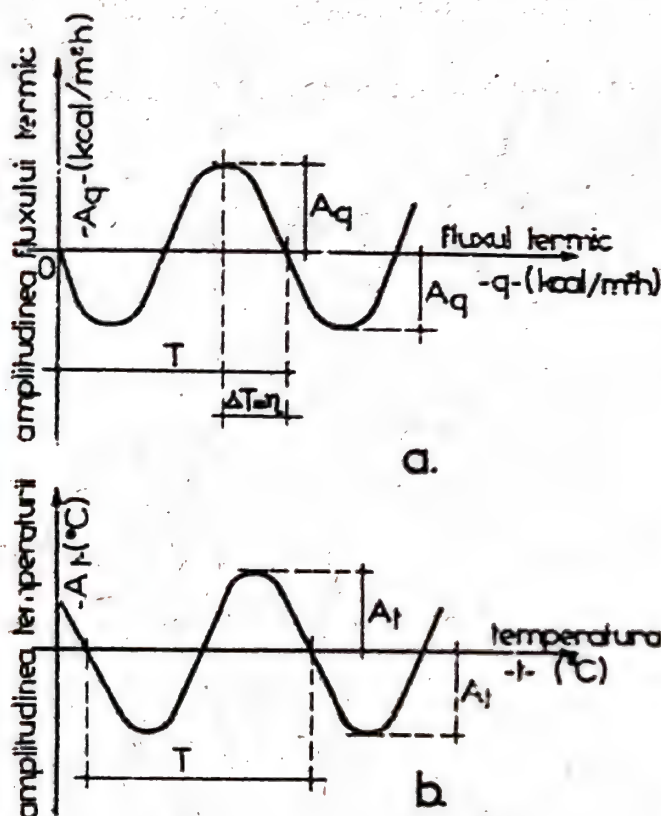
- criterii aproximative;
- călculul cu diferențe finite;
- metode analogice electrice.

## 2.1. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcție în regim nestaționar.

### 2.1.1. Capacitatea de asimilare a căldurii la suprafața elementelor de construcție.

Reducerea masei pereților, adoptarea acoperișurilor terasă, folosirea materialelor grele și ușoare la elemente cu structuri mixte, influența radiației solare asupra suprafețelor exterioare

a elementelor de construcție fac actuală ipoteza regimului nestaționar la studiul termic al elementelor de construcție. În acest caz prezintă importanță proprietatea suprafețelor materialelor de a absorbi și ceda căldura, ca urmare a variațiilor periodice ale fluxului termic și a temperaturii aerului.



Măsurători termice la construcții în exploatare justifică ipoteza variației sinusoidale a fluxului de căldură și a temperaturii suprafețelor elementelor (fig. 47, fenomen ce poate fi considerat cu perioade de o zi, o lună sau un an. Sub acțiunea variației fluxului de căldură  $q$ , de amplitudine  $A_q$ , are loc variația temperaturii  $t$  a suprafeței elementului de construcție, cu

amplitudinea  $A_t$ , de depinde de caracteristicile termofizice ale materialelor din care sînt alcătuite elementele. Coeficientul de absorbție a căldurii  $S$ , exprimat în kcal/m²·h·°C, caracterizează asimilarea căldurii la suprafața materialelor și este definit de raportul:

$$S = \frac{A_q}{A_t} = \frac{q_{\max} - q}{t_{\max} - t} \quad (125)$$

Diferențele  $q_{\max} - q$  și  $t_{\max} - t$  caracterizează variația fluxului termic și a temperaturii. Coeficientul de asimilare



termică  $S$  depinde de conductivitatea termică a materialului, de căldură specifică  $c$ , greutatea aparentă specifică  $\rho$  și perioada  $T$ . Pentru  $T = 24$  ore, expresia coeficientului de absorbție  $S$  se prezintă sub formă:

$$S_{24} = \sqrt{\frac{2\pi}{T} \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho} = 0,51 \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} \quad (126)$$

La materialele termoizolatoare valorile coeficientului  $S$  sînt mici, iar la materialele grele cu valori mari pentru  $\lambda$  și  $\rho$ , valorile  $S$  sînt mari. Valorile coeficientului de asimilare termică  $S_{24}$  sînt cuprinse între  $0,31 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  (polistiren expandat) și  $301 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  (tablă de cupru), conform datelor din anexa 1 și reflectă caracteristicile materialelor termoizolante și a materialelor de mare permeabilitate termică.

#### 2.1.2. Indicele inerției termice.

Pentru aprecierea capacității de acumulare și cedare a căldurii de către elementele de construcție, s-a introdus noțiunea indicelui de inerție termică  $D$ , ce caracterizează numărul undelor de temperatură ce pătrund în grosimea elementului de construcție, definit de expresia:

$$D = R \cdot S \quad (127)$$

în care:

-  $R = \frac{d}{\lambda}$ , rezistența la permeabilitate termică a elementului omogen de construcție, în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/Kcal}$ ;

-  $S$ , coeficientul de asimilare termică a materialului în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ .

La elemente de construcție în mai multe straturi, expresia indicelui de inerție termică devine:

$$D = \sum_{k=1}^n R_k \cdot S_k \quad (128)$$



în care:  $R_k$  și  $S_k$  prezintă rezistența și respectiv coeficientul de asimilare termică a unui strat curent  $k$ , al structurii compuse.

Indicele  $D$  al inerției termice caracterizează masivitatea și deci capacitatea de acumulare termică a elementului de construcție. Se consideră că masivitatea unui element este mică dacă  $D < 4$ , medie dacă  $D = 4 \dots 7$  și mare dacă  $D > 7$ .

### 2.1.2. Amortizarea oscilațiilor termice.

O exprimare mai cuprinzătoare a inerției termice este prezentată de Sklover A.M. (21), Georgescu S. și alții (12), Fr. Eichler (3,4,5). După acești autori, raportul între amplitudinea oscilației termice pe suprafețele elementului de construcție (fig. 48) caracterizează capacitatea de acumulare și cedarea căldurii în regim nestaționar și influențează variațiile de temperatură ale aerului interior. Dacă inerția termică a elementului de construcție este mare, amplitudinile temperaturii aerului interior

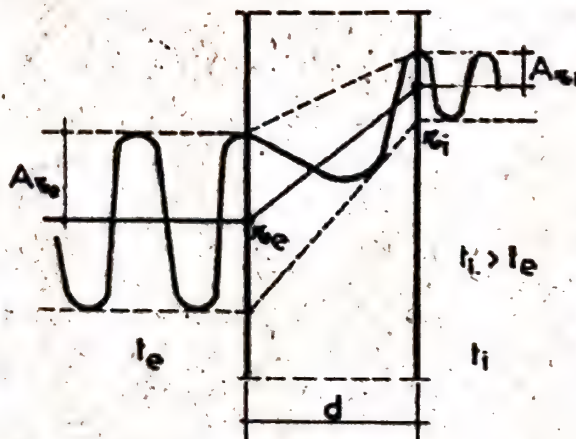


Fig. 48. Amortizarea oscilației termice în elemente de construcție.

sînt mai mici, în comparație cu amplitudinile temperaturii aerului exterior sau ale suprafeței exterioare a elementelor de construcție.

Indicele care caracterizează temperatura aerului interior, sub influența oscilației temperaturii aerului exterior, depinde de capacitatea de amortizare termică și se exprimă cu ajutorul relației:

$$\gamma = \frac{A_{T_e}}{A_{T_i}}$$

( 129 )



în care:

-  $\gamma$ , indicele amortizării termice;

-  $A_{t_e}$ , amplitudinea temperaturii suprafeței exterioare a elementului de construcție, în  $^{\circ}\text{C}$ ;

-  $A_{t_i}$ , amplitudinea variației temperaturii suprafeței interioare a elementului de construcție în  $^{\circ}\text{C}$ ;

Acest indice poate fi luat în considerare atât în condiții de iarnă cât și în condiții de vară, în special la structuri din beton armat la care influența radiației solare este esențială asupra confortului din locuințe.

După Eichler, valorile admisibile pentru  $\gamma$ , în funcție de natura, modul de alcătuire fizică și orientarea elementului de construcție (pereți, terase), față de punctele cardinale trebuie să fie cuprinse între 16 și 25.

Regimul termic variabil la elementele de construcție se manifestă în condiții de iarnă și de vară, fig.49.

În condiții de iarnă regimul variabil poate fi determinat de variația temperaturii a aerului interior, datorită variațiilor condițiilor de funcționare a instalațiilor de încălzire și de variația temperaturii aerului exterior față de condițiile de dimensionare ale regimului permanent, fig.50, sau din ambele cauze.

În condiții de vară, variația condițiilor de microclimat interior este determinată de variația temperaturii aerului exterior. În ambele cazuri adâncimea de pătrundere a oscilațiilor termice de amplitudine  $A_{t_i}$  sau  $A_{t_e}$  depinde de caracteristicile de amortizare ale elementelor de construcție, exprimate prin indicii  $\gamma$ , definiți mai sus.

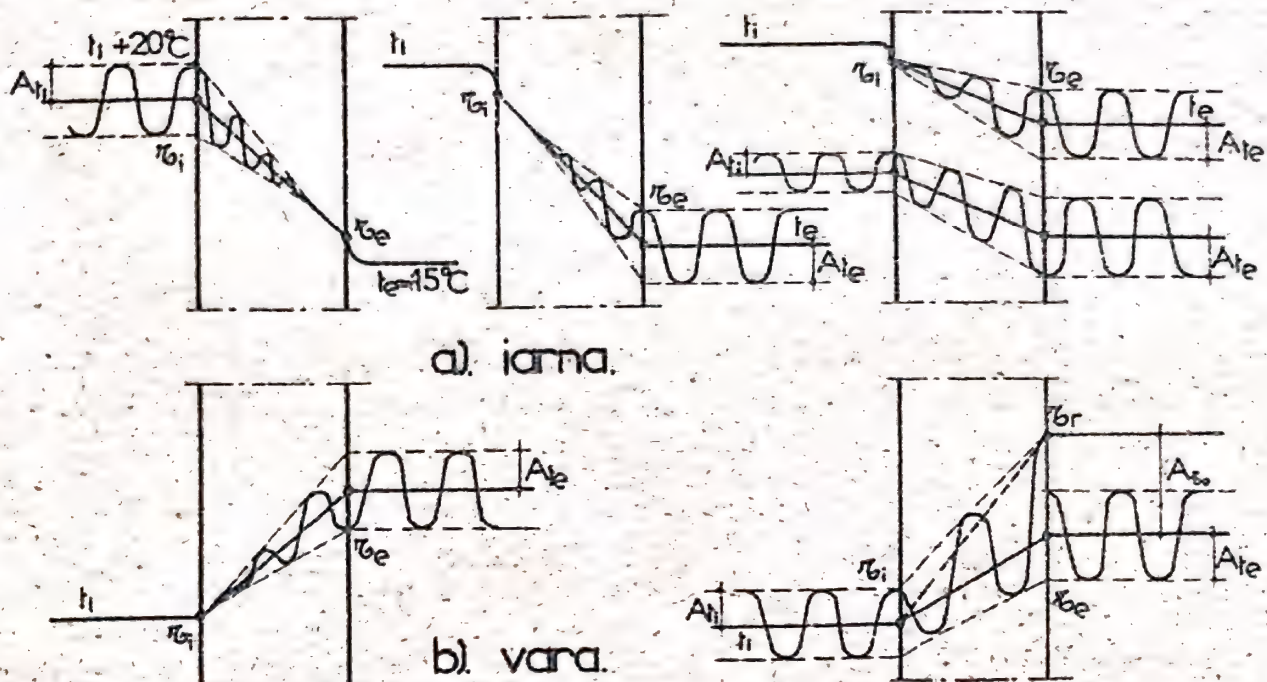


Fig.49.Regimul termic variabil la pereți omogeni.

a) iarna; b) vara. Adâncimea de pătrundere a oscilațiilor termice;  $\Delta t_i$ ,  $\Delta t_e$  amplitudinile de variație ale temperaturilor aerului interior și exterior.

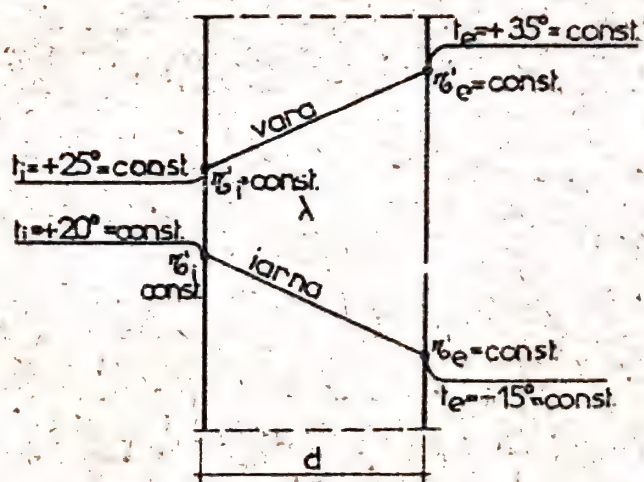


Fig.50.Regimul termic staționar mediu la pereți omogeni, în condiții de iarnă și vară, pentru zona II-a climatică



#### 2.1.4. Deplasarea de fază (defazajul) oscilațiilor termice.

Un alt indice al inerției termice, care caracterizează acțiunea de răcire în timpul nopții și de încălzire în timpul verii, este deplasarea de fază sau întârzierea de timp, a oscilației termice, notată cu  $\eta$  (fig. 47) și care reprezintă intervalul de timp de la începutul acțiunii termice exterioare (răcire sau încălzire) pînă cînd efectul termic se manifestă pe suprafața interioară a elementului de construcție și deci în interiorul încăperilor. Deplasarea de fază a oscilației termice depinde și de capacitatea de amortizare a elementului de construcție. În timpul verii, cînd intervine acțiunea însoririi, dacă amortizarea termică a elementului de construcție este corespunzătoare, unda termică poate fi reținută și căldura absorbită pînă cînd aerul exterior se răcește din nou. Pentru a se evita încălzirea încăperilor în condiții de vară este necesar ca întârzierea de fază să fie de cel puțin 8 ore. Acoperișurile terasă sînt supuse însoririi pe o perioadă mai mare și implică asigurarea unui defazaj mai mare. Pereții orientați spre răsărit sînt supuși unei durate mai mici de însorire și implică o valoare mai mică a decalajului de fază.

După Eichler (4) valorile informative admisibile ale defazajului pentru elementele de construcție în funcție de natura lor, destinația clădirilor și orientarea cardinală trebuie să fie cuprinse între 6 și 14 ore.

#### 2.2. Calculul transmisiei termice prin conducție, în regim nestaționar, prin diferențe finite.

Pentru rezolvarea ecuației privind propagarea căldurii, în regim nestaționar, transpunem ecuația (122) în formă corespunzătoare diferențelor finite:

$$\frac{\Delta t}{\Delta T} = \frac{\lambda}{C \cdot \rho} \cdot \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} \quad (190)$$

Membrul 2 al egalității (130), cu ajutorul diferențelor finite, se poate pune sub forma :

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} = \frac{t_{x+\Delta x, T} - 2t_{x, T} + t_{x-\Delta x, T}}{\Delta x^2} \quad (131)$$

Pentru rezolvarea ecuației (131) în cazul unui element omogen, împărțit în fișii egale de lățime  $x$ , se pot folosi metode iterative, scriind ecuațiile de bilanț termic și condițiile la limită.

În legătură cu rezolvarea problemelor practice, cu ajutorul diferențelor finite, a apărut necesitatea de a se clarifica condițiile în care se pot obține soluții cu aproximații satisfăcătoare și cu o convergență rapidă. Din literatură rezultă condiția  $0 < \frac{1}{M} < \frac{1}{2}$  în care  $M = \left( \frac{\Delta x}{a \cdot \Delta T} \right)^2$ , pentru o convergență rapidă. Pentru  $M = 2$  se poate obține o sistematizare avantajoasă a calculelor, temperatura într-un punct exprimându-se ca medie aritmetică a temperaturii punctelor învecinate la momentul precedent.

Calculul numeric cu diferențe finite se conduce pînă la valori ale temperaturilor finale ce prezintă aproximații acceptabile. Cunoșcîndu-se variația cîmpului termic se pot face aprecieri privind caracteristicile termice în regim nestaționar și comportarea termică în exploatare.

### 2.3. Metode analogice electrice pentru regim nestaționar.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații cu diferențe finite ce caracterizează cîmpul termic variabil al elementelor de construcții, se pot folosi dispozitive avînd la bază principiile calculului: cifric sau modelarea analogică electrică. Probleme



mele de cîmp termic variabil din construcții pot fi soluționate cu ajutorul dispozitivelor și instalațiilor analogice electrice dezvoltate în Republica Socialistă România de către Catedra de Construcții de la Institutul Politehnic Iași (8). Folosirea dispozitivelor și instalațiilor analogice electrice în regim variabil permite reprezentarea cîmpurilor termice și a condițiilor la limite și determinarea funcțiilor de temperaturi necunoscute  $t(x, y, z, T)$  prin măsurători de potențial electric și intensități de curent.

Pentru reprezentarea analogică a ecuațiilor diferențiale în regim staționar, se pleacă de la identitatea formei ecuațiilor diferențiale ale cîmpului termic și electric.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) = C \cdot \varrho \cdot \frac{\partial t}{\partial T} \quad (132)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{r_x} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{r_y} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{r_z} \cdot \frac{\partial V}{\partial z} \right) = C_e \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \quad (133)$$

în care:

- $t$ , funcția de temperaturi;
- $\lambda$ , coeficient de conductivitate termică;
- $C$ , coeficient de căldură specifică;
- $\varrho$ , greutatea specifică aparentă a materialelor;
- $T$ , timpul;
- $r_x, r_y, r_z$ , rezistențele electrice ale rețelei

după direcțiile  $x, y, z$ ;

- $C_e$ , capacitatea condensatorului;
- $V$ , diferența de potențial în nodul considerat al

rețelei;

- $x, y, z$ , coordonate spațiale.

Pentru reprezentarea analogică a ecuațiilor cu diferențe finite, în modelul cu rezistențe și capacități, se ia în considerare relația lui Kirchhoff (fig.51)

$$\sum_{i=1}^n \frac{V_i - V_0}{r_{oi}} = I_0 \quad (134)$$

în care:

$$I_0 = C_0 \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \quad (135)$$

Cu ajutorul acestor expresii se stabilesc scheme electrice pentru trecerea de la relațiile cu diferențe finite la scheme analogice în care mărimile electrice respectă relații similare și condiții la limită corespunzătoare.

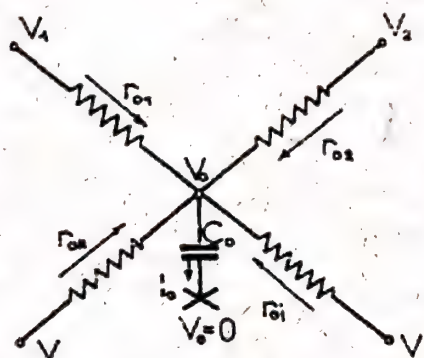


Fig.51. Nod într-o rețea electrică cu rezistențe și capacități ce modelează regimul termic variabil.

### 3. Dimensionarea termică a elementelor de construcții.

Pentru asigurarea confortului la clădirile de locuit și social-culturale și în scopul dimensionării economice a instalațiilor de încălzire centrală, este necesar ca pierderile de căldură prin elementele exterioare de construcție (pereți, acoperișuri, ferestre, uși) să fie în limita unor valori optime. Această cerință implică respectarea inegalității:

$$R_{ef} \geq R_{onec} \quad (136)$$

în care:  $R_{ef}$ , rezistența termică efectivă a elementului de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ ;

-  $R_{onec}$ , rezistența termică necesară, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ .



Rezistența termică necesară se calculează cu expresia:

$$R_{o_{nec}} = \frac{(t_i - t_e) \cdot n \cdot m}{\alpha_i \cdot \Delta \bar{t}_{imin}} \quad (137)$$

în care:

-  $t_i$ , temperatura aerului interior, în funcție de destinația încăperilor, conform anexe I, în  $^{\circ}\text{C}$ ;

-  $t_e$ , temperatura convențională de calcul a aerului exterior în  $^{\circ}\text{C}$ , conform zonei climatice din Republica Socialistă România, anexa VI, după care teritoriul țării este împărțit în 3 zone climatice (zona I cu  $-12^{\circ}\text{C}$ , zona II cu  $-15^{\circ}\text{C}$ , zona III cu  $-18^{\circ}\text{C}$ , STAS 6472-61);

-  $n$ , coeficient care depinde de poziția suprafeței exterioare a elementului de construcție, față de aerul exterior, conform form cu anexa VII;

-  $m$ , coeficient de masivitate a elementului de construcție, funcție de valorile indicelui de inerție  $D$ , conform datelor din anexa VIII;

-  $\alpha_i$ , coeficient de schimb superficial de căldură la interior, în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ , conform anexe II;

-  $\Delta \bar{t}_{imax} = t_i - \bar{t}_i$ , diferența de temperatură maximă admisibilă între temperatura aerului interior și temperatura suprafeței interioare a elementului de construcție, din condiția de confort și de evitare a condensului, conform datelor din anexa IX în  $^{\circ}\text{C}$ .

La structuri cu punți conform STAS 6472 - 68 și a datelor din literatură, temperatura minimă pe suprafața interioară a elementului de construcție se poate calcula cu relația:

$$\bar{t}_{imin} = t_i \left( \frac{t_i - t_e}{t_i - \bar{t}_i} \right) \cdot R_i \cdot \frac{R_o' + \eta \cdot (R_o - R_o')}{R_o \cdot R_o'} > \bar{t}_r \quad (138)$$

în care:

-  $R_0$ , rezistența la transmisia căldurii în secțiunea curentă, neinfluențată de puntea termică, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$  ;

-  $R_p$ , rezistența la transmisia căldurii în zona punții, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$  ;

-  $\eta$ , coeficient de corecție în axul punții, conform datelor din anexa I, în funcție de tipul punții (fig.52) și raportul  $\frac{a}{d}$ ,  $a$  fiind lățimea punții și  $d$ , grosimea elementului de construcție;

-  $t_p$ , temperatura de rouă la care poate interveni condensul pe suprafața elementului de construcție, în funcție de umiditatea aerului interior și exterior, în  $^\circ C$ . Pentru evitarea condensului trebuie asigurată respectarea inegalității indicată de relația ( 138 ).

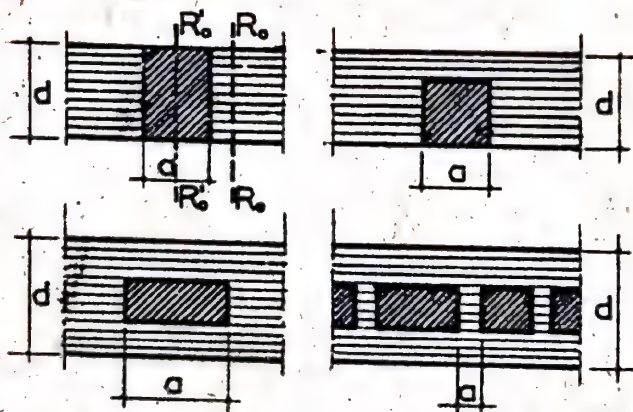


Fig.52. Tipuri de punți.

Rezistența termică efectivă  $R_{ef}$ , se determină pe baza elementelor expuse în paragrafele precedente în funcție de caracteristicile termofizice și geometrice ale structurii elementului de construcție.

Pentru aprecierea stabilității termice a unui element de construcție se calculează valoarea efectivă a amortizării oscilației termice  $\gamma_{ef}$ , se compară cu valoarea normală a amortizării  $\gamma_{nec}$ , verificându-se inegalitatea:

$$\gamma_{ef} \geq \gamma_{nec} \quad ( 139 )$$



Valorile necesare ale amortizării amplitudinilor variațiilor de temperatură,  $\gamma_{nec}$  sînt prezentate, după Fr. Eichler (4) în anexa II.

Valorile amortizării termice efective  $\gamma_{ef}$  se calculează pentru elemente omogene, cu indicele inerției termice  $D < 1$  cu ajutorul expresiei (140):

$$\gamma_{ef} = 0.9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} \cdot \frac{(S_{24} + \alpha_i) \cdot \alpha_e + U}{(S_{24} + U) \cdot \alpha_e} \quad (140)$$

în care:

- $e$ , baza logaritmilor naturii (2,718);
- $D$ , indicele inerției termice, calculat cu relația (127);
- $S_{24}$ , coeficientul de asimilare a căldurii, conform datelor din anexa I, în  $Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$ ;
- $\alpha_{i,e}$ , coeficienții de schimb superficial de căldură, conform anexei II, în  $Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$ ;
- $U$ , coeficientul de asimilare a căldurii la suprafața elementului de construcție, dat de relația:

$$U = \frac{R \cdot S_{24} + \alpha_i}{1 + R \cdot \alpha_i} \quad (141)$$

- $R$ , Rezistența termică a elementului de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$ .

La structuri în mai multe straturi, valoarea amortizării termice efective se calculează cu relația:

$$\gamma_{ef} = 0.9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} \cdot \frac{S_1 + \alpha_1}{S_1 + U_1} \cdot \frac{S_2 + U_1}{S_2 + U_2} \cdot \dots \cdot \frac{S_n + U_{n-1}}{S_n + U_n} \cdot \frac{\alpha_e + S_{n-1}}{\alpha_e} \quad (142)$$

Valorile  $U_1, \dots, U_n$  se vor calcula în funcție de inerția termică a straturilor componente conform datelor din anexa III.

Dimensionarea elementelor de construcție la defazajul oscilațiilor termice presupune verificarea inegalității:

$$\eta_{ef} \geq \eta_{nec} \quad (143)$$

Pe plan internațional nu sînt normate valori minime privind întîrzierea de fază,  $\eta_{nec}$ . Fr. Eichler (4), pe baza amortizării minime  $\gamma$ , indică valorile necesare pentru defazajul oscilațiilor termice ale elementelor de construcție conform datelor din anexa XIII.

După A. Sklover (21) și V. Barcs, defazajul oscilațiilor termice  $\eta_{ef}$  se poate calcula cu relația:

$$\eta_{ef} = \frac{1}{15} \cdot \left[ 40,5 \cdot D \cdot \arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + S_{24} \sqrt{2}} + \arctg \frac{S_{24}}{S_{24} + \alpha_e \sqrt{2}} \right] \quad (144)$$

în care:

-  $D$ , coeficientul de inerție termică a elementului de construcție este egal cu produsul  $R_0 \cdot S_{24}$ , la structuri omogene.

La structuri de pereți în mai multe straturi, calculul defazajului  $\eta_{ef}$  se face cu expresia:

$$\eta_{ef} = \frac{1}{15} \cdot \left[ 40,5 \cdot \sum_{k=1}^n D_k \cdot \arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + U_i \sqrt{2}} + \arctg \frac{\alpha_e}{U_e + \alpha_e \sqrt{2}} \right] \quad (145)$$

în care:

$$\sum_{k=1}^n D_k = \sum_{k=1}^n R_k \cdot S_{24_k}$$

$U_i$  și  $U_e$  calculează pentru fiecare strat component cu ajutorul relațiilor din anexa III, în funcție de poziția stratului și valorile  $D_k$ . Coeficientul  $U_i$  se ia egal cu  $U_i$  și  $U_e$  cu  $U_n$ .

O analiză mai amănunțită a fenomenului presupune luarea în considerare și a capacității de acumulare termică a elementelor de construcție precum și influența transmisiei plane la colțuri și în zona punților la structuri neomogene.



## C. UMIDITATEA CONSTRUCȚIILOR

### I. Surse de umiditate în construcții.

#### 1.1. Acțiunea apei asupra materialelor și elementelor de construcție.

Studiul umidității construcțiilor prezintă o importanță deosebită în legătură cu asigurarea confortului și durabilității clădirilor. Apa sub diferite forme (vapori în aer, stare lichidă sau solidă în caz de îngheț) acționează permanent la formarea structurii materialelor, la executarea și exploatarea construcțiilor. Fiind un element indispensabil vieții, apa este necesară pentru asigurarea condițiilor biologice, igienice și de confort iar în producție pentru satisfacerea cerințelor tehnologice. Din punct de vedere al umidității, cerințele de igienă și confort ale climatului interior al construcțiilor sînt riguros condiționate de regimul termic, așa cum rezultă din figura 53.

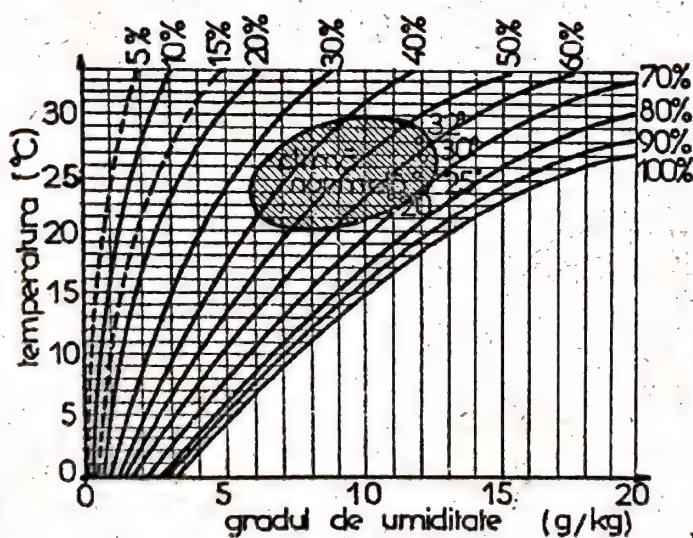


Fig. 53. Condiții higrotermice normale de confort pentru climatul interior.

În construcții intervine umiditatea aerului interior care influențează confortul și condițiile tehnologice ale producției, umiditatea aerului exterior în funcție de condițiile climatice generale și locale și umiditatea materialelor elementelor de construcții datorită acțiunii vaporilor de apă din



aerul umed sau direct a apei în stare lichidă. Pentru majoritatea construcțiilor umiditatea relativă a aerului din încăperi trebuie să fie cuprinsă între 30 % și 70 %. Pentru clădiri civile și social-culturale, valorile optime ale umidității aerului sînt funcție de temperatură, astfel:  $u_{r_i} = 55\%$  la temperatura aerului interior  $t_i = 23^\circ\text{C}$  și  $u_{r_i} = 65\%$  la  $t_i = 20^\circ\text{C}$ .

Cunoașterea condițiilor de umiditate în exploatarea construcțiilor este necesară din punct de vedere termotehnic, sanitar-igienic și constructiv. Sub influența umidității, conducibilitatea termică, căldura specifică și masa specifică a materialelor cresc, iar izolarea termică a materialelor scade. Din punct de vedere sanitar-igienic creșterea umidității creează condiții favorabile pentru instalarea unor afecțiuni cronice (reumatism) și permite dezvoltarea ciupercilor și mușgaiului. Din punct de vedere constructiv, variația umidității materialelor de construcții conduce la micșorarea rezistențelor mecanice, determină tensiuni din contracții și dilatări care influențează structura fizică a materialelor, iar sub influența îngheț-dezghețului, în zona exterioară a elementelor de construcții apar degradări și deformații care reduc considerabil durabilitatea construcțiilor (4).

#### 1.1.1. Formele de acțiune a apei asupra construcțiilor.

Apa poate acționa asupra construcțiilor sub forme diferite, umiditatea aerului și a elementelor de construcție fiind rezultatul suprapunerii mai multor acțiuni. (fig.54)!

Apa inițială de construcție, care este introdusă în construcție prin procesul de construcție și este funcție de natura materialelor, sistemul constructiv și tehnologia de execuție.



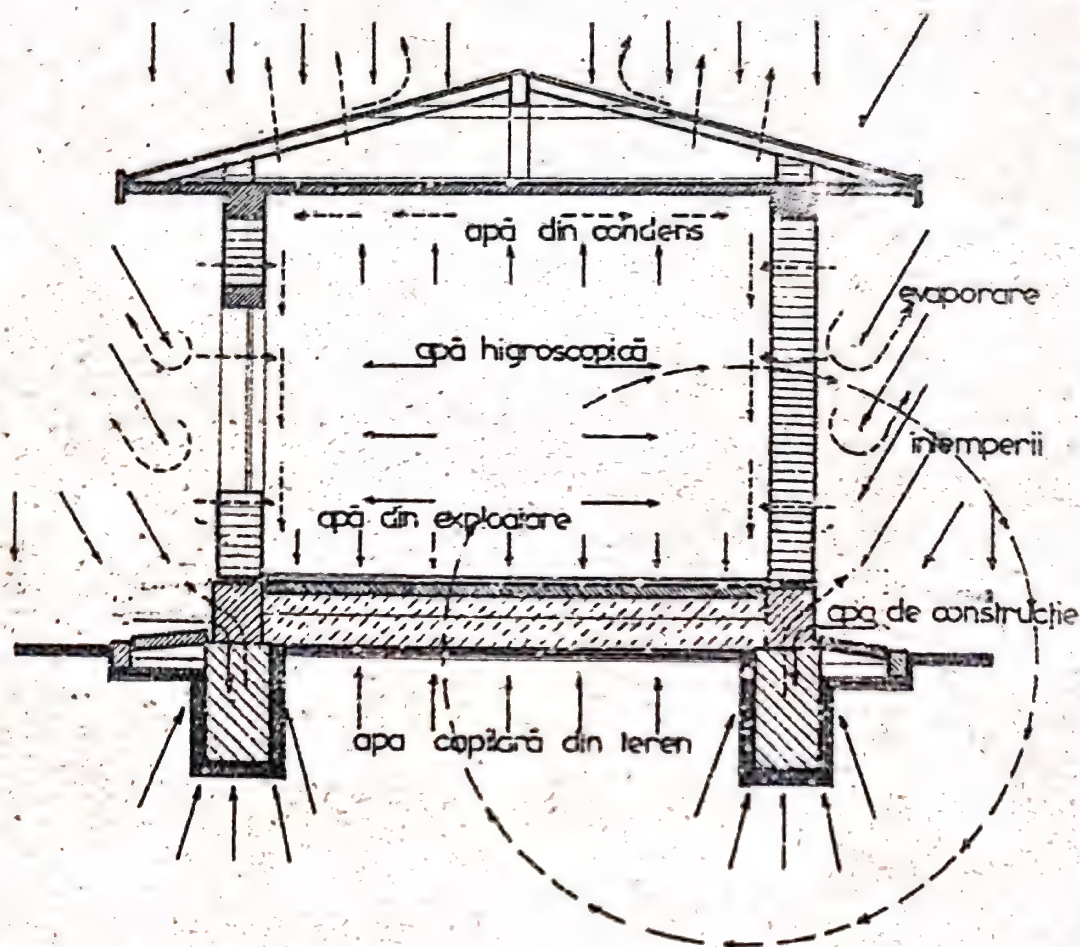


Fig.54. Acțiunea complexă a apei din natură asupra construcțiilor.

Apa din teren, care poate acționa direct asupra fundațiilor sau datorită ascensiunii capilare pînă la nivelul elementelor de construcție de la parter, corespunzător hidroizolației soclului.

Apa meteorologică, care influențează climatul exterior și acționează asupra construcțiilor, datorită intemperțiilor sub formă de ploaie și zăpadă (fig.55).

Apa de exploatare, este determinată de natura proceselor umede care intervin în legătură cu destinația unor încăperi (spălătorii, băi, dușuri) în clădirile de locuit și social-culturale



și datorită unor procese tehnologice în producție.

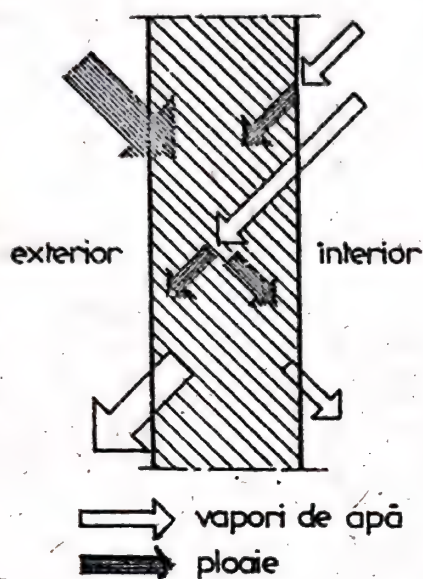


Fig.55. Acțiunea apei sub formă de vapor ( la interior și exterior) și sub formă de ploaie.

Apa de natură biologică, care intervine prin procesele de respirație și evaporare a vaporilor de apă la suprafața pielii omului și a viețuitoarelor. În raport cu activitatea pe care o depune, la temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , omul poate produce cantități de 50..60 g/h (în repaus) până la 1300...6800 g/h (muncind greu). Cantitatea maximă de vapor de apă ce se poate considera ca fiind degajată de om într-o încăpere este de 28/24 h.

Apa higroscopică, ce se datorește acțiunii umidității aerului interior și exterior asupra construcțiilor și este funcție de structura fizică a materialului și procentul de umiditate a aerului. Sub acțiunea umidității higroscopice se stabilește umiditatea de echilibru a materialelor ce caracterizează exploatarea construcțiilor.

Apa de condens, poate interveni pe suprafața interioară, exterioară și în masa elementelor exterioare de construcție (pereți, terase) datorită condensării vaporilor de apă ce migrează prin elementele de construcție sub acțiunea gradientului de temperatură și de umiditate, atunci când temperatura coboară sub limita valorii de rouă.

Sub acțiunea complexă a apei, în limitele indicate în figura 56, conform datelor din Franța (24) se stabilește umiditatea de exploatare a construcțiilor și elementelor de con-



strucție. Din aer apa acționează asupra elevației, fundației și terenului și prin fenomene de evaporare și condensare, circulația apei din natură și construcție prezintă un circuit închis.

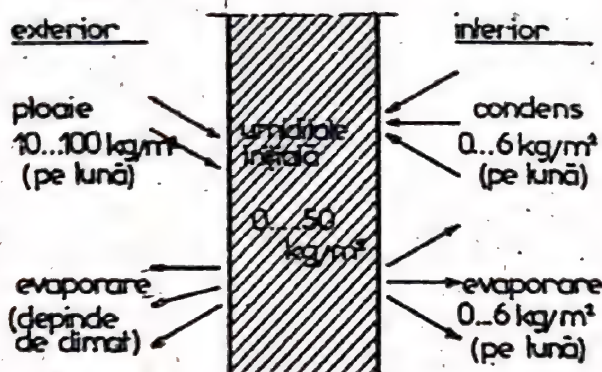


Fig.56. Cantitățile medii de apă primită și cedată de perețele exterior pe suprafața interioară și exterioară.

### 1.2. Umiditatea aerului.

Aerul poate conține apă într-una sau mai multe faze: gazoasă (vapori), lichidă (picături) și uneori solidă ( în stare cristalină sau amorfă). La suprafața apei (aflată în stare lichidă sau solidă) sînt expulzate permanent molecule de apă datorită agitației moleculare, formîndu-se o pătură de vapori. Dacă stratul de vapori de apă nu este antrenat de aerul în mișcare, se obține o stare de saturație în care faza gazoasă este în echilibru cu faza lichidă sau solidă a apei, realizîndu-se egalitatea între presiunea sau tensiunea de vaporizare și presiunea vaporilor de apă din atmosferă.

Aerul conține astfel, la un moment dat, o anumită cantitate de vapori de apă, care determină umiditatea sa. Conținutul de vapori de apă din aer, exprimat în  $g/m^3$ , definește umiditatea sa absolută,  $u_a$  :

$$U_a = \frac{m_v}{V} \quad (146)$$

în care:

- $m_v$ , masa vaporilor de apă, în g;
- $V$ , volumul aerului umed, în m<sup>3</sup>.

Conținutul maxim de vaporii de apă ce poate fi absorbit de aer la temperatura "t" definește umiditatea de saturație  $u_s$  ( $u_s = u_{max}$ ).

În anexa XIV, se prezintă valorile  $u_{max}$ , pentru aer, în funcție de temperatură. Umiditatea de saturație a aerului crește cu temperatura sa. Aerul cald prezintă o capacitate mai mare de absorbție a vaporilor de apă, față de aerul rece. Umiditatea aerului poate fi exprimată și prin raportul între conținutul real de vaporii de apă și conținutul maxim pe care-l poate absorbi aerul la temperatura "t", ceea ce definește umiditatea sa relativă,  $u_r$  % :

$$u_r = \frac{U}{U_s} \cdot 100 \quad (147)$$

Conținutul în vaporii de apă influențează presiunea atmosferică. Presiunea atmosferică a aerului este determinată de presiunea parțială a aerului uscat și presiunea vaporilor de apă din aer. Presiunea parțială a vaporilor de apă din aer caracterizează conținutul real în vaporii de apă al aerului sau elasticitatea vaporilor de apă notată cu "e" și exprimată în mm col.Hg. Elasticitatea sau presiunea vaporilor de apă crește cu umiditatea absolută  $m_a$  și cu temperatura t a aerului.

La presiunea atmosferică de 755 mm col.Hg. elasticitatea vaporilor de apă sau presiunea parțială a acestora se poa-



te calcula cu relația:

$$e = p_a = \frac{273+t}{289} \cdot u_a = \frac{T}{289} \cdot u_a \quad (148)$$

în care:

-  $T$ , =  $273 + t$ , temperatura absolută a aerului, exprimată în  $^{\circ}\text{K}$ .

În cazul cînd umiditatea absolută a aerului prezintă valoarea maximă  $u_{\text{max}} = u_s$ , în  $\text{g}/\text{m}^3$ , se obține elasticitatea sau presiunea maximă a vaporilor de apă notată cu  $E$ , în  $\text{mm col.Hg}$ , care depinde de temperatura aerului, conform anexei IV. Umiditatea relativă a aerului  $u_r$ , în %, se poate exprima și în funcție de elasticitatea parțială și maximă (de saturație) a vaporilor de apă, conform expresiei:

$$u_r = \frac{e}{E} \cdot 100 \quad (149)$$

În problemele de verificare a condensului la elemente de construcție interesează calculul elasticității parțiale "e" folosind relația (147), în funcție de umiditatea relativă a aerului  $u_r$  % :

$$e = \frac{E}{100} \cdot u_r \quad (150)$$

În anexa XVI sînt prezentate valorile elasticității parțiale a vaporilor de apă pentru diferite umidități relative ale aerului. În anexa V sînt prezentate valorile admisibile ale umidității aerului în construcții în raport cu destinația acestora.

### 1.3. Umiditatea materialelor de construcții.

Materialele de construcție și elementele de construcții pot reține apa în masa lor sub următoarele forme:

- Apa de construcție, legată prin combinații chimice de

moleculele materialelor;

- Apa de structură, sau hidratare, care participă la cristalizarea unor materiale;

- Apa higroscopică, absorbită sau adsorbită  $f$  de materiale sub formă capilară.

La corpuri eterogene, formate din fază solidă și fază lichidă, au loc fenomene între faze (12,21) ce caracterizează acțiunea apei asupra materialelor și care constau din:

- absorbție, adică difuzarea moleculelor fazei fluide în faza solidă;

- adsorbție, ce constă din formarea pe fața solidului a unei pelicule de molecule din fază fluidă pe suprafața porilor deschiși, sub acțiunea forțelor Van der Waals ;

- sorbție, adică ansamblul fenomenelor de absorbție și adsorbție;

- desorbție, adică fenomenul de cedare a apei;

- chemosorbție, în cazul când legătura apei cu faza solidă se realizează prin satisfacerea valențelor, fenomenul fiind greu reversibil.

Apa poate fi prezentă în cavitățile materiale și prin reținere mecanică, fără adesiune, datorită infiltrațiilor din plot, sau ca urmare a fenomenelor de condens la suprafața sau în masa elementelor de construcție. În condiții similare de temperatură și umiditate materialele pot reține cantități diferite de apă. Materialele care pot lega apa prin sorbție, adică direct din faza gazoasă (aer), se sîc higroscopice. Umiditatea higroscopică este normală pentru elementele de construcție, depinde de umiditatea aerului și nu influențează în general durabilitatea materialelor de rezistență, din construcții.

O sensibilitate mare prezintă materialele ușoare termo-



izolatoare care se pot degrada la umidități mari ale aerului. În anexa XVII se prezintă valorile umidității higroscopice (de sorbție) a materialelor de construcție care prezintă variații între 0,08 % și 36,6 % în funcție de temperatura și umiditatea relativă a aerului. În fig. 57, se prezintă în mod sugestiv formele de legătură mecanică a apei în elementele de construcție.

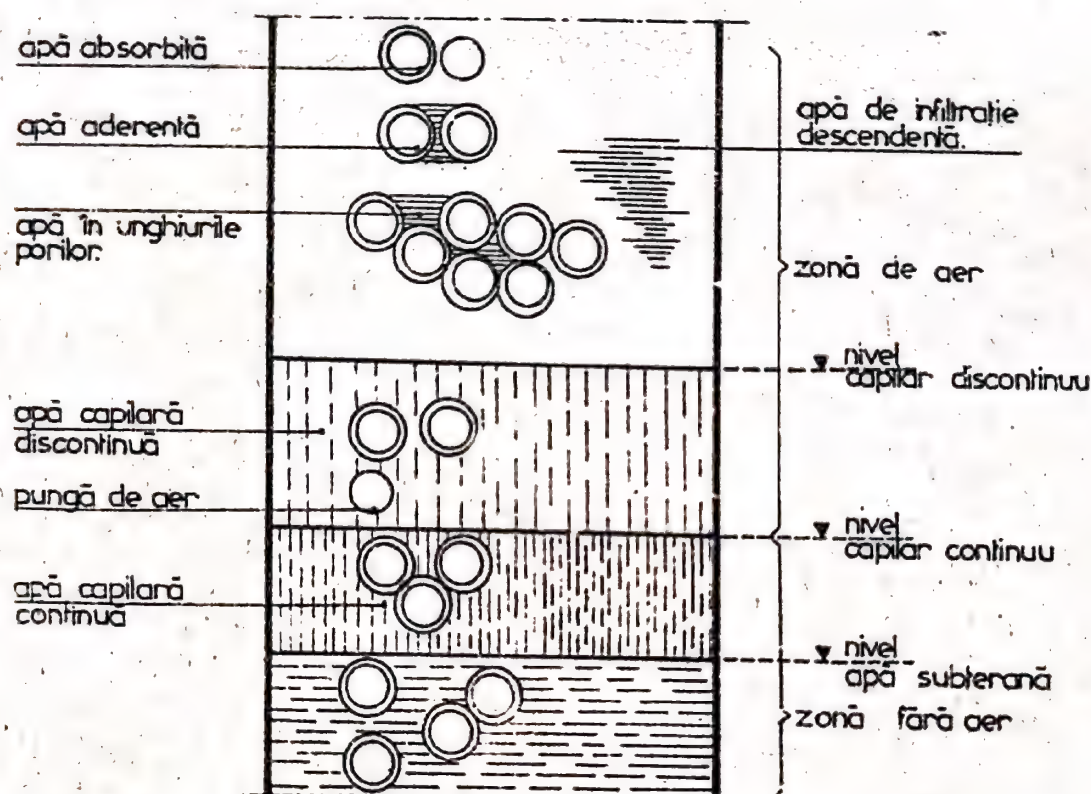


Fig. 57. Formele de legătură mecanică a apei în elementele de construcție.

Pentru asigurarea durabilității materialelor folosite la pereți și terase este necesar să se evite formarea condensului: atât pe suprafața elementelor de construcție în exploatare cât și în masa acestora.

Conținutul de apă al materialelor de construcții variază sub acțiunea proceselor de umectare și uscare. Apa legată chimic nu este influențată de procesul de uscare. Prin uscare sau umectare

variază numai conținutul de apă, reținută fizic și mecanic.

Umiditatea totală a unui material este alcătuită din umiditatea de sorbție (higroscopică) și umiditatea liberă, conform schemei din fig.58 (12). Umiditatea liberă este determinată de contactul direct al materialului cu apa în stare lichidă sau condensarea vaporilor. Umiditățile de echilibru care se stabilesc

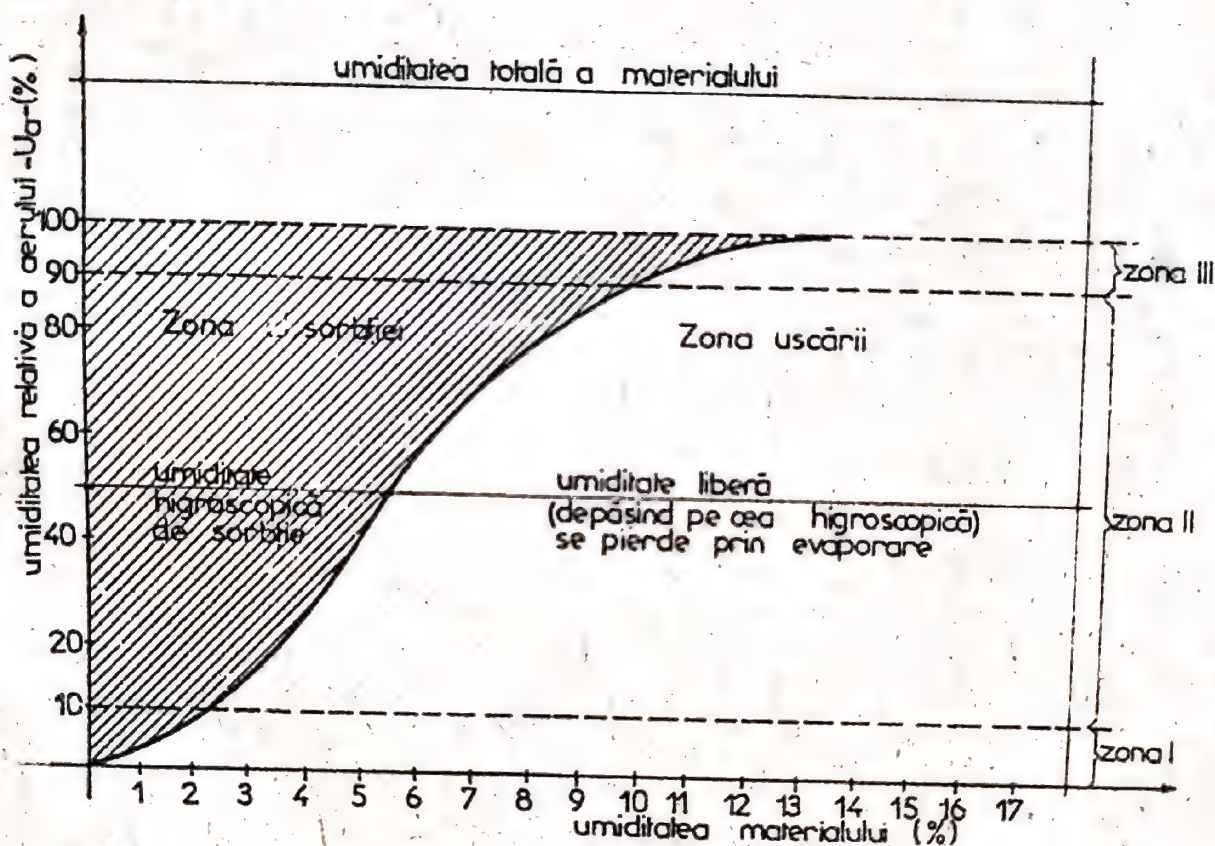


Fig.58. Schema stării unui material în procesul de umedire-uscăre.

pentru diferite materiale (cărămizi, betoane ușoare, betoane grele, vată minerală și materiale izolatoare organice) sînt prezentate în graficele din figura 59 și nu depășesc 9% raportat la volum, pentru umiditatea relativă a aerului de 100 %. După N. Bauer, durata timpului necesar pentru stabilirea umidității de echilibru este de cel puțin 1 an la stădrie de cărămidă, de cel puțin 2 ani la



beton de zgură și 4 ani la cărămizi silico-calcareoase.

Umiditatea unui material poate fi exprimată prin raportarea cantității de apă la masă sau la volum. Umiditatea gravimetrică, raportată la masa materialului se exprimă cu relația:

$$u_{ga} = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 = \frac{m_a}{m_o} \cdot 100 \quad (151)$$

în care:

- $u_{ga}$  , umiditatea gravimetrică absolută, în % ;
- $m_u$  , masa materialului în stare umedă, în g ;
- $m_o$  , masa materialului în stare uscată în g ;
- $m_a$  , masa de apă în g.

Umiditatea volumetrică  $u_v$  , în % , se exprimă cu relația :

$$u_v = \frac{V_a}{V_m} \cdot 100 \quad (152)$$

în care:

- $V_a$  , volumul de apă din material ;
- $V_m$  , volumul materialului;

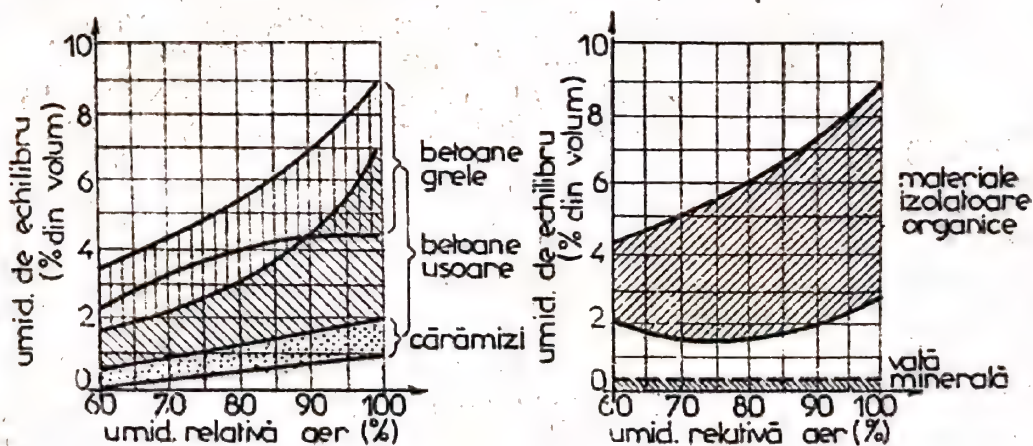


Fig.59. Umidități de echilibru pentru materiale de construcție.

Determinarea conținutului de umiditate al materialelor se poate obține prin metode gravimetrice (uscarea probelor la  $101-105^{\circ}\text{C}$ ) și metode electrice (măsurarea unui parametru electric, variabil cu umiditatea).

### 1.3.1. Caracteristicile materialelor privind difuzia vaporilor de apă.

Pentru umidități relative ale aerului cuprinse între 10 % și 90 %, după A. Licov, difuzia vaporilor de apă în materiale depinde de caracteristicile structurale ale porilor capilari ale acestora și se exprimă prin coeficientul de permeabilitate la vaporii de apă și capacitatea specifică de vaporii.

Pentru caracterizarea materialelor de construcție sub aspectul permeabilității la vaporii de apă se poate folosi noțiunea de conductivitate la vaporii  $\delta$ , exprimată în  $\text{Kcal/m.h.mmHg}$  și care este exprimată de relația:

$$\delta = \frac{D}{R_D \cdot C \cdot T} \quad (153)$$

în care:

-  $D$ , coeficientul de difuzie a vaporilor de apă în aer, exprimat în  $\text{m}^2/\text{h}$ , definit de expresia:

$$D = 0,083 \frac{10.000}{P} \left( \frac{T}{273} \right) \quad (154)$$

Valorile coeficientului  $D$  depind de presiunea barometrică și temperatură, fiind cuprinse între  $0,083$  și  $0,095 \text{ m}^2/\text{h}$ , în condițiile în care  $P = 735,5 \dots 760,0 \text{ torr (mmHg)}$  și temperatura este cuprinsă între  $0$  și  $30^{\circ}\text{C}$ .

-  $R_D$ , rezistența la difuzie a vaporilor de apă, noțiune introdusă de Kriescher, care arată de câte ori este mai mare rezistența la difuzie a unui material oarecare în raport cu rezistența la difuzie a unei plăți de aer de aceeași grosime



-  $C$ , constanta gazelor pentru vapori de apă, egală cu  $4,71 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{Kg}^\circ\text{K}$ .

-  $T$ , temperatura absolută, în  $^\circ\text{K}$ .

După Cammerer, coeficientul de conductivitate la vapori a unui material, la temperatura de  $0^\circ\text{C}$  și presiunea atmosferică  $760 \text{ mmHg}$ , este dat de relația:

$$\delta = \frac{6,24}{R_D} \cdot 10^{-6} \quad (155)$$

Coeficientul de conductivitate la vapori de apă a unui material reprezintă cantitatea de vapori de apă, în  $\text{Kg}$ , ce trec printr-un cub de material cu latura de  $1 \text{ m}$ , după o direcție perpendiculară pe una din suprafețele cubului cu latura de  $1 \text{ m}$ , în timp de  $1 \text{ oră}$  și pentru o diferență de presiune parțială (elasticitate) a vaporilor de apă, între suprafețele opuse, de  $1 \text{ mmHg}$  (torr).

Capacitatea specifică de vapori a unui material,  $\xi$ , exprimată în  $\text{g/Kg mm col Hg}$ , reprezintă cantitatea de vapori de apă, în  $\text{g}$ , necesară pentru a ridica presiunea parțială (elasticitatea) vaporilor de apă din porii unui Kilogram de material cu  $1 \text{ mm col Hg}$ .

În anexa XVIII sînt prezentate valorile conductivității la vapori de apă a principalelor materiale de construcție cuprinse între  $0,003 \dots 0,050 \text{ g/m.h.mm col Hg}$ .

#### 1.4. Măsurarea umidității în construcții.

##### 1.4.1. Măsurarea umidității aerului.

Pentru cunoașterea condițiilor de microclimat interior în clădiri sub influența climatului exterior sînt necesare măsurători privind umiditatea aerului și a elementelor de construcții.

Pentru măsurarea umidității aerului se folosesc metodele:

Metoda psihrometru, se bazează pe măsurarea diferenței temperaturilor indicate de un termometru umed și unul uscat și care variază cu umiditatea aerului. Acest principiu s-a folosit la construcție de diferite aparate denumite psihrometre, dintre care menționăm psihrometrul Assmann, fig. 60.



Fig. 60.

Psihrometru Assmann

Metoda higrometrului cu fir de

păr, bazată pe variația lungimii unui fir de păr degresat, în funcție de umiditatea aerului. Higrometrele cu fir de păr, fig. 61, sînt relativ robuste și comode în exploatare, permițînd înregistrări cu eroare de 3....5%.

Metoda măsurării punctului de

rouă.

Este o metodă mai recentă, bazată pe faptul că soluția de Li Cl umedă este mai bună conducătoare de electricitate decît una uscată. Dacă prin soluția de Li Cl, dispusă între doi electrodin inoxidabili, trece un curent electric, aceasta o va încălzi pînă cînd presiunea vaporilor de apă din soluție este egală cu a vaporilor de apă din aer, realizîndu-se astfel un echilibru, caracterizat printr-o temperatură de inversiune, care măsurată, exprimă umiditatea atmosferică, fig. 62. Pe acest principiu s-au construit diferite higrometre cu Li Cl.

1.4.2. Măsurarea umidității materialelor și elementelor de construcție.

a) Metode distructive.



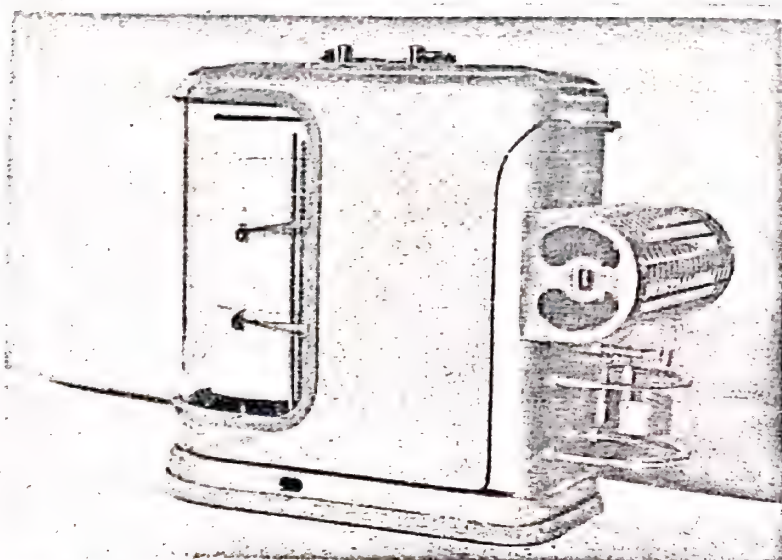


Fig. 61. Termohigrograf săptăminal Junkalor.

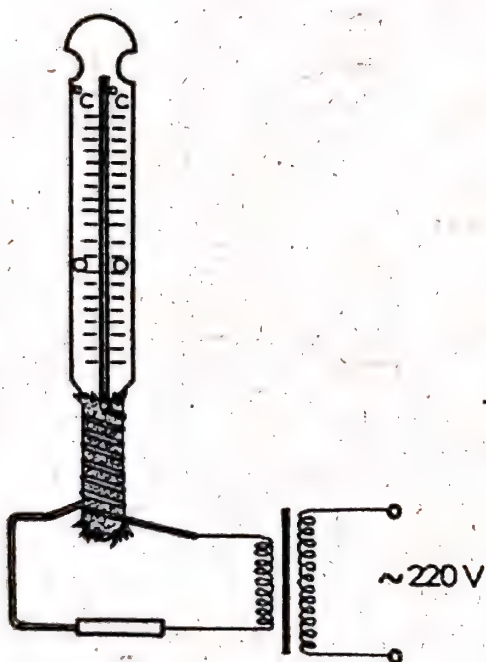


Fig. 62. Higrometru cu  $L_1Cl$ .

#### Metoda uscării în etuvă,

presupune recoltarea de probe care se cîntăresc în stare umedă, se usucă la anumite temperaturi și se cîntăresc din nou, determinîndu-se greutatea constantă. Cu aceste date se obține umiditatea relativă.

Un tip de umidometru funcționînd după acest principiu se prezintă în fig. 63.

#### b) Metode nedistructive.

##### Metode electrice. In

cadru metodelor electrice se folosește variația anumitor mărimi electrice (conductivitatea, capacitatea electrică) ale probelor de materiale (sau a unor



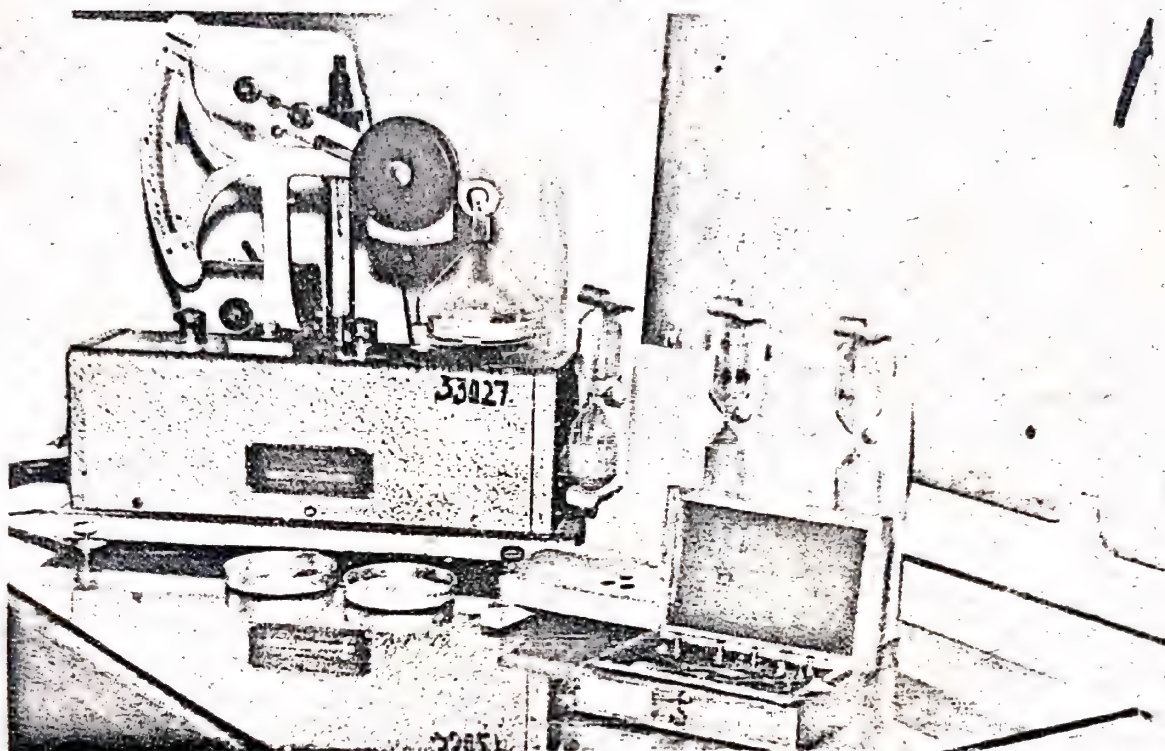


Fig. 63. Aparat pentru determinarea umidității materialelor prin uscare și cântărire, în curent de aer cald.

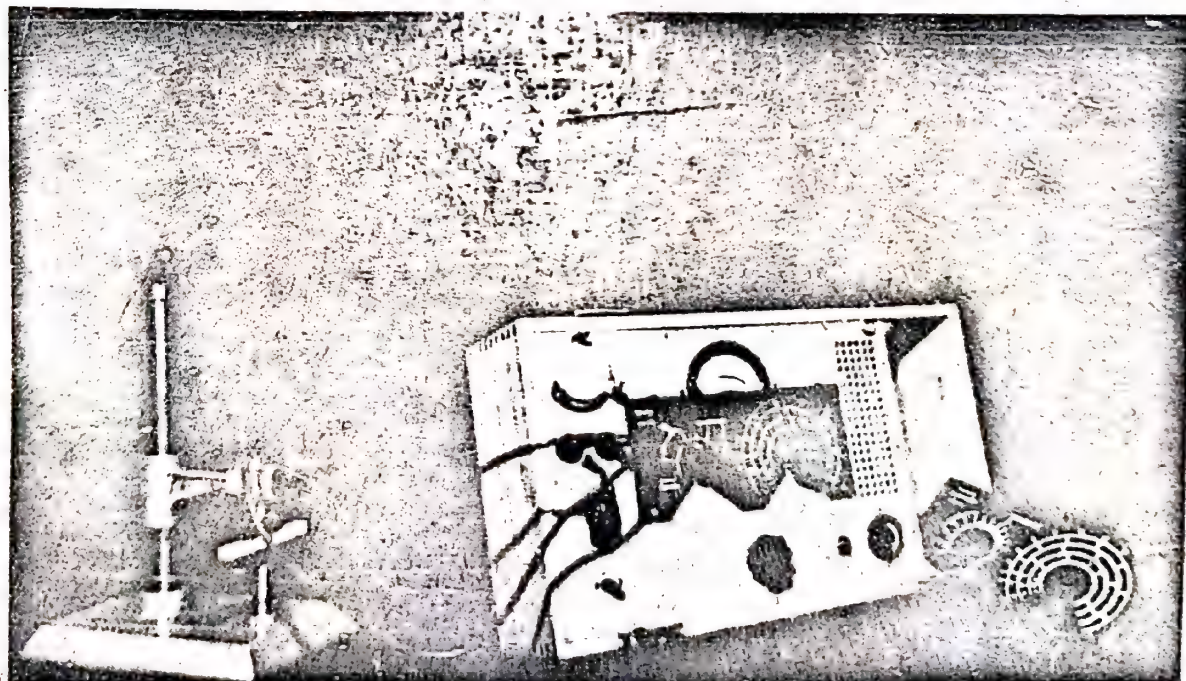


Fig. 64. Aparat pentru măsurarea umidității lemnului de tip Hygrorekord



traductorij cu umiditatea. Un umidometru de acest tip se prezintă în fig. 64.

Metode radioactive. Se bazează pe absorbția energiei cinetice a neutronilor rapizi la trecerea prin substanțe cu un conținut mare de atomi de hidrogen (apă). Metoda se pretează la măsurarea elementelor masive. În funcție de necesități s-au construit diferite tipuri de asemenea umidometre.

Metode termice. Întrucât prezența apei modifică caracteristicile termice ale materialelor (conductivitatea termică, căldura specifică etc.) s-au realizat umidometre pe această bază. Până în prezent ele sînt în fază experimentală.

#### 1.5. Condensarea vaporilor de apă în construcții.

Procesul de trecere al apei din faza gazoasă în faza lichidă, are loc prin condensare atunci cînd prin coborîrea temperaturii aerului sau prin creșterea concentrației vaporilor de apă în aer se obține presiunea de saturație. Punctul de rouă  $t_r$  în  $^{\circ}\text{C}$ , al aerului umed la temperatura  $t$  și presiunea totală "p" a acestuia, caracterizat printr-un anumit raport de amestec între aer și vaporii de apă ( $\frac{g_{\text{vapori}}}{g_{\text{aer}}}$ ), reprezintă temperatura la care trebuie răcit aerul, sub presiunea constantă pentru ca el să devină saturat. Condensarea vaporilor are loc ori de cîte ori aerul este adus la o temperatură inferioară punctului de rouă sau cînd aerul vine în contact cu un obiect sau element de construcție a cărui temperatură la suprafață este inferioară punctului de rouă.

Condensul pe suprafața elementelor de construcție depinde de gradul de ventilație a aerului din încăperi, de mișcarea aerului exterior, de variația temperaturii și umidității aerului interior, de omogenitatea constructivă a pereților și teraselor. La structuri neomogene, cu punți termice, condensul se poate pro-



duce în dreptul acestora datorită temperaturii mai coborîte a elementelor de construcție în aceste zone. Formarea condensului pe suprafețele interioare ale elementului de construcții este influențată și de caracteristicile finisajelor. La tencuieli impermeabile cu pelicole etanșe, de tipul vopsitorilor, condensul sub formă de picături se manifestă imediat ce temperatura suprafeței atinge punctul de rouă. Tencuielile absorbante pot asigura rolul de volant și regulator de umiditate, condiție importantă pentru confortul higrotermic, în cazul cînd umiditatea aerului variază în limite normale.

Condensarea vaporilor în masa elementelor de construcție (pereți, terase) depinde de soluția constructivă (structură omogenă sau neomogenă), de etanșeitatea suprafeței interioare, la acțiunea vaporilor de apă și etanșeitatea suprafeței exterioare la acțiunea directă a apei din intemperii, anexa IIX după R.E.E.F. La structuri omogene procesul de migrare a apei este permanent, ca urmare a condensărilor și evaporărilor în masa și la suprafața elementelor (a). Barierele etanșe la exterior (b), la interior (c), favorizează formarea condensului în secțiunile respective. Folosirea tencuielilor absorbante elimină formarea condensului la suprafață. La umidități mari sînt indicate structuri cu straturi de aer (d) și (e) care să asigure, prin comunicare cu aerul exterior, eliminarea vaporilor de apă din elementele de construcții.

## 2. Calculul la umiditate a construcțiilor.

### 2.1. Rezistența la permeabilitatea la vaporii a elementelor de construcție în regim staționar.

Sub influența gradientului de umiditate și în raport cu caracteristicile elementelor de construcție la permeabilitatea la vaporii de apă, pot avea loc fenomene de difuzie a vaporilor



de la interior la exterior, în condiții de iarnă și în unele cazuri de la exterior la interior, în condiții de vară.

Sub influența diferenței de elasticitate a vaporilor de apă din aerul interior ( $e_i$ ), față de elasticitatea vaporilor de apă din aerul exterior ( $e_e$ ), are loc fenomenul de difuzie a vaporilor de apă în funcție de permeabilitatea la vaporii a elementelor de construcție, de alcătuirea lor constructivă și condițiile de climat termic.

În condiții de regim staționar de umiditate ( $e_i = \text{const}$ ,  $e_e = \text{const}$ ) difuzia vaporilor de apă prin elementele de construcție omogene, (fig. 65), este condiționată de rezistența la trecerea vaporilor la suprafața interioară I ( $R_{vi}$ ), rezistența la trecerea vaporilor prin elementul de construcție II ( $R_v$ ) și rezistența la trecerea vaporilor de apă de la suprafața exterioară a elementului de construcție la aerul exterior III ( $R_{ve}$ ).

Rezistența totală ( $R_{ov}$ ) la trecerea vaporilor de apă, în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm}$  col  $\text{Hg/g}$ , prin elementul de construcție este dată de relația:

$$R_{ov} = R_{vi} + R_v + R_{ve} = \frac{1}{\beta_e} + R_v + \frac{1}{\beta_e} = \frac{1}{\beta_e} + R_v + \frac{1}{\beta_e} \quad (156)$$

în care:

$R_{vi}$  - rezistența la trecerea vaporilor de apă de la aerul interior la suprafața interioară a elementului de construcție exterior, în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm}$   $\text{Hg/g}$ , având valoarea  $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm}$   $\text{Hg/g}$ ,  $\beta_i$  fiind coeficientul

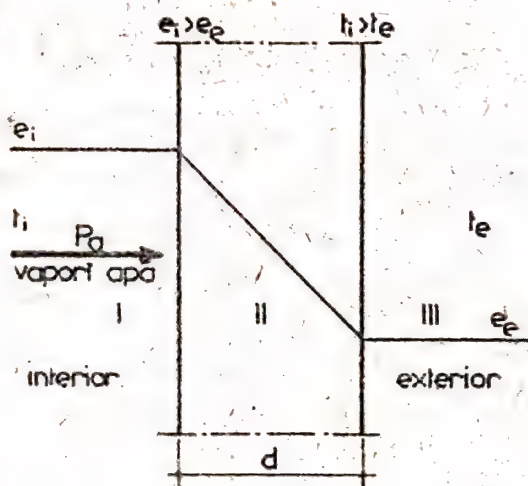


Fig. 65. Variația elasticității vaporilor de apă prin structuri omogene.

de trecere a vaporilor de apă la suprafața interioară.

-  $R_{ve}$ , rezistența la trecerea vaporilor de apă de la suprafața exterioară a elementului de construcție la aerul exterior, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg/g}$ , avînd valoarea  $0,1 m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg/g}$ ,  $\beta_e$  fiind coeficientul de trecerea vaporilor de apă la suprafața exterioară.

-  $R_g$ , rezistența la trecerea vaporilor de apă de la suprafața interioară a elementului de construcție la suprafața sa exterioară, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ col Hg/g}$  și se definește ca fiind rezistența pe care o prezintă un element de construcție la trecerea vaporilor de apă, în grame, printr-un  $m^2$  de suprafață, timp de 1 oră și pentru o diferență a elasticității vaporilor de apă între fața interioară și cea exterioară a elementului de construcție de 1 mm col Hg.

-  $\mu$ , coeficientul de permeabilitate la vaporii de apă a elementului de construcție, exprimat în  $g/m^2 \cdot h \cdot mm \text{ col Hg}$ , reprezentînd cantitatea de vaporii de apă ce trece printr-o suprafață de  $1 m^2$ , a elementului de construcție, timp de 1 oră și pentru o diferență de presiune a vaporilor de apă dintre aerul interior și exterior de 1 mm col Hg, putîndu-se exprima și sub formă:

$$\mu = \frac{1}{R_{ov}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\delta_i} + \frac{1}{\beta_e}} \quad (157)$$

La elemente omogene rezistența la permeabilitatea de vaporii de apă, care este o caracteristică a elementului de construcție, neglijînd rezistențele de suprafață la trecerea vaporilor, datorită valorilor mici, se poate prezenta sub formă:

$$R_{ov} \cong R_v = \frac{d}{\delta} = \frac{1}{\mu} \left[ m^2 \cdot h \cdot mm \text{ col Hg/g} \right] \quad (158)$$

în care:

$d$  - grosimea elementului, în m ;



$\delta$  - coeficientul de conductivitate la vapori al materialului în g/m.h.mm col Hg ;

$\mu$  - coeficientul de permeabilitate la vapori al elementului de construcție, în g/m<sup>2</sup> h.mm Hg.

În anexele XVIII și IX, în conformitate cu STAS 6472-68, sînt prezentate valorile rezistenței la permeabilitate la vapori  $R_v$  ale unor materiale sub formă de straturi subțiri, foi, în funcție de grosimea lor și valorile rezistenței la permeabilitate ale unor materiale de construcție folosite la structura pereților. Deoarece  $R_{v1} + R_{v2} = 0,3$ , reprezintă o valoare mică, practic se admite:

$$R_{ov} \approx R_v \quad (159)$$

La elemente de construcție alcătuite din mai multe straturi, neglijîndu-se rezistențele de suprafață la trecerea vaporilor, rezistența totală la permeabilitatea la vapori se calculează cu expresia:

$$R_v = R_{v1} + R_{v2} + \dots + R_{vn} = \sum_{k=1}^n R_{vk} = \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\delta_k} \quad (160)$$

în care:

-  $R_{v1}, R_{v2}, \dots, R_{vk}$  reprezintă rezistențele la vapori a straturilor 1, 2...K, în m<sup>2</sup>.h.mm col Hg/g ;

-  $d_k$ , grosimile straturilor componente în m ;

-  $\delta_k$ , coeficienții de permeabilitate la vapori de apă a materialelor, din care sînt alcătuite straturile, în g/m.h.mm col Hg.

Elasticitatea (presiunea parțială) vaporilor de apă, în mm col Hg [torr], pe suprafața unui strat K, este dată de rela-

fiat:

$$e_k = e_i - \frac{e_i - e_e}{R_{ov}} \cdot \sum_{n=1}^K R_{v_n} \quad \text{sau :} \quad (161)$$

$$e_k = e_i - \frac{\Delta e}{R_{ov}} \cdot \sum_{n=1}^K R_{v_n} \quad (162)$$

în care  $\Delta e = e_i - e_e$ , diferența dintre presiunea vaporilor de apă a aerului interior și presiunea vaporilor de apă a aerului exterior, în mm col Hg.

$\sum_{n=1}^K R_{v_n} = \sum_{n=1}^K \frac{d_n}{\delta_n}$  este suma rezistențelor la permeabilitate la vaporii a primelor K straturi, de la suprafața interioară în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ col. Hg/g}$ .

Reprezentarea grafică a curbei elasticității vaporilor de apă se poate face la scara grosimilor (în cm), figura 66 și se prezintă în acest caz ca o linie frântă, sau la scara rezistențelor la permeabilitate la vaporii de apă, reprezentându-se ca o linie dreaptă (fig. 67).

Cantitatea de vaporii de apă sau debitul specific de vaporii de apă care trece printr-un element de construcție, în regim staționar, se poate calcula cu expresia:

$$p_a = \frac{e_i - e_e}{R_{ov}} = \frac{\Delta e}{R_{ov}} \quad (163)$$

în care:

-  $p_a$  - debitul specific de vaporii de apă în g, ce trece prin unitatea de suprafață a elementului de construcție exterior, în timp de o oră, în  $g/m^2 \cdot h$ .

$\Delta e = e_i - e_e$  - diferența de presiune parțială a vaporilor de apă din aerul interior  $e_i$  și aerul exterior  $e_e$ , în



mm col Hg;

$R_{ov}$  - rezistența totală a elementului de construcție la trecerea vaporilor, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg}/\mu$ .

## 2.2. Calculul la condens pe suprafața interioară a elementelor de construcție.

Pentru evitarea condensului pe suprafața interioară a elementelor de construcție este necesară asigurarea că în condițiile de exploatare, temperatura ( $t_i$ ) pe fața interioară a elementelor de construcție nu va coborî sub temperatura de rouă ( $t_p$ ).

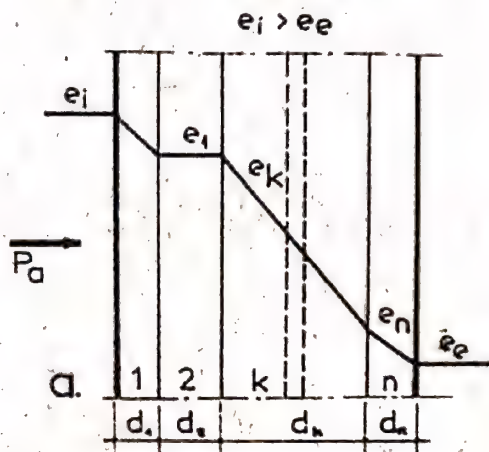


Fig. 66. Reprezentarea grafică a curbei elasticității vaporilor de apă la scara grosimilor.

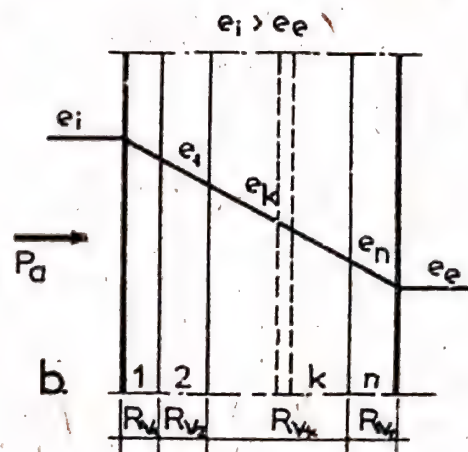


Fig. 67. Reprezentarea grafică a curbei elasticității vaporilor de apă la scara rezistențelor la permeabilitate la vaporii de apă.

Asigurarea contra condensului se obține dacă este verificată inegalitatea:

$$t_i > t_p$$

În acest scop este necesar să se calculeze temperatura  $t_i$  a suprafeței interioare a elementului de construcție exterior, cu ajutorul expresiei:

$$t_i = t_e - \frac{R_i}{R_0} \cdot (t_i - t_e) \quad (165)$$

în care:

$t_i$  - temperatura de calcul a aerului interior, în  $^{\circ}\text{C}$ ,

$R_i$  - rezistența la transmisia căldurii prin convecție interioară, în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$ .

$R_0$  - rezistența totală la transmisia căldurii prin elementul de construcție, în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$ .

$t_e$  - temperatura de calcul a aerului exterior, în  $^{\circ}\text{C}$ ,

La pereți omogeni,

$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (166)$$

La pereți neomogeni:

$$R_0 = R_i + \sum_{k=1}^n R_k + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (167)$$

Cunoscîndu-se temperatura aerului interior ( $t_i$ ) și umiditatea relativă a aerului interior ( $u_{r_i}$ ) se poate determina temperatura de rouă ( $t_p$ ) pentru care această umiditate saturează aerul și determină condensarea vaporilor de apă. Astfel pentru condiții obișnuite de climat la care  $t_i = +20^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{r_i} = 60\%$ , conform datelor din anexa IV, se obține  $e_i = 0,6 \times 17,54 = 10,52$  mm col Hg ce reprezintă elasticitatea maximă (presiunea de saturație) pentru  $+12^{\circ}\text{C}$ , temperatura de rouă. În cazul cînd inegalitatea 164 nu este satisfăcută este necesar să se îmbunătățească coeficientul de rezistență termică  $R_0$ .



Debitul specific de vapori ce trece prin elementul de construcție se determină cu relația ( 163 ).

### 2.3. Calculul condensului în interiorul elementelor de construcție

În cazul transmisiei unidirecționale la difuzie a vaporilor, în regim permanent se poate efectua pe baza ipotezelor lui H.Glaser ( 15 ), neglijând influența căldurii degajate sau absorbite în cursul transformărilor de fază, ipoteza aplicabilă elementelor asimilate cu pereți plani, înfinați, alcătuiți din straturi paralele.

Calculul la condens, în regim staționar, presupune determinarea curbei temperaturilor, stabilirea curbei elasticității ( presiunilor parțiale ) vaporilor de apă în elementul de construcție și a curbei presiunilor de saturație a vaporilor de construcție pentru condițiile  $t_1 = \text{const.}$ ,  $t_2 = \text{const.}$ ,  $u_1 = \text{const.}$ ,  $u_2 = \text{const.}$

Pentru verificarea condensului în interiorul elementelor de construcție se determină următoarele elemente:

- Valorile temperaturilor  $t$ , figura 68, cunoscând că într-o secțiune la distanța  $x$  de fața interioară a elementelor de construcție, temperatura  $t_x$ , se poate determina cu expresia:

$$t_x = t_1 - \frac{R_x}{R_0} \cdot (t_1 - t_2) \quad ( 168 )$$

$R_x$  - rezistența termică la transmiterea căldurii pînă-n secțiunea  $x$ , în  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{Kcal}$ , calculată cu formula 169:

$$R_x = R_1 + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{x}{\lambda_2} \quad ( 169 )$$

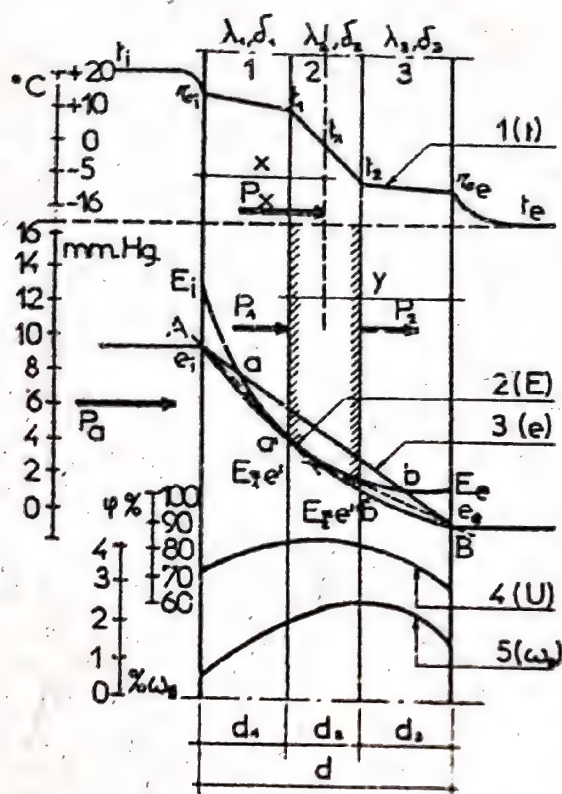


Fig. 68. Verificarea la condens a elementelor de construcție:  
1-curba temperaturilor; 2-curba elasticităților maxime; 3-curba elasticităților parțiale; 4-curba umidității relative a aerului în perete; 5-curba umidității de sorbție a elementelor de construcție.

$$\Delta e_x = \frac{\frac{d_1}{\delta_1} + \frac{x}{\delta_2}}{\sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\delta_k}} \cdot (e_i - e_e) \quad (170)$$

în care:

$\Delta e_x$  - căderea presiunilor parțiale a vaporilor de apă pînă în stratul x, în mm col Hg;

$\frac{d_1}{\delta_1} + \frac{x}{\delta_2}$  - rezistența la permeabilitatea la vaporii de apă pînă la stratul x, în m<sup>2</sup>·h.mm col Hg/g;

- Valorile elasticităților maxime (E) a vaporilor de apă corespunzător valorilor temperaturilor  $t_1, t_2, t_e$  în elementul de construcție și avînd în vedere datele din anexa IV.

- Curba elasticităților (presiunilor parțiale, e) ale vaporilor de apă plecînd de la elasticitatea  $e_i$  corespunzător umidității relative a aerului interior  $\varphi_i$  și  $e_e$  corespunzător umidității aerului exterior  $\varphi_e$ .

Căderea elasticității vaporilor de apă prin elementul de construcție se calculează cu relația:



$\sum \frac{n}{\delta_k} d_k$  - rezistența totală la permeabilitatea la vapori de apă a elementului de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col Hg/g ;

$e_i - e_e$  - căderea totală a presiunilor parțiale a vaporilor de apă, în condițiile de calcul, în mm col Hg ;

Valorile umidităților relative  $u_r$  ale aerului din elementele de construcție pe baza relației:

$$u_r = \frac{e}{E} \cdot 100 \quad (171)$$

Valorile umidităților de sorbție ( $\omega_g$ ) ale elementului de construcție pe baza izotermelor de sorbție caracteristice materialelor putîndu-se estima coeficientul de conductivitate termică a elementelor de construcție, pe straturi, cu ajutorul expresiei (3).

Pentru evitarea condensului este necesar ca pentru orice secțiune a elementului de construcție să avem îndeplinită inegalitatea:

$$e_x < E_x \quad (172)$$

Verificarea condensului în masa elementului de construcție se poate face și pe calea grafică, construindu-se la o anumită scară curbele  $e$  și  $E$ . În cazul cînd curbele  $e$ ,  $E$ , se intersectează rezultă că are loc fenomenul de condens. Delimitarea zonei de condens se realizează prin tangentele  $e_1$ ,  $E_1$  (Aa) și  $e_e$ ,  $E_2$  (Bb) la curba presiunilor de saturație care delimitează curba reală a presiunilor, avînd în vedere faptul că în cazul condensului zona "a - b" din curba " $e_i - e_e$ " nu mai are sens fizic. Condensarea vaporilor are loc în limitele a' b' care corespund valorilor  $e' = E_1$  și  $e' = E_2$  rezultate, ducînd tangentele din A și B la curba presiunilor de saturație.

Debitul specific de vapori  $P_1$  care intră în zona de condens în cadrul unui element de construcție în mai multe straturi este:

$$P_1 = \frac{e_i - E_1}{\frac{d_1}{\delta_1}} = \frac{e_i - E_1}{R_{v1}} \quad (173)$$

sau în general:

$$P_x = \frac{e_1 - E_x}{R_{v_x}} \quad (174)$$

Debitul specific de vapor de apă  $P_2$  care ies din zona de condens este:

$$P_2 = \frac{E_2 - e_e}{\frac{d_3}{\delta_3}} = \frac{E_2 - e_e}{R_{v_3}} \quad (175)$$

sau în general:

$$P_{x,e} = \frac{E_x - e_e}{R_{v_{x,e}}} \quad (176)$$

în care:

$R_{v_{x,e}}$  - Rezistența la permeabilitatea de vapor de apă din secțiunea ce delimitează spre exterior zona de condens pînă la fața exterioară a elementului de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col Hg/o.

Debitul specific de vapor de apă  $P_a$  care condensează este dat de relația:

$$P_a = P_1 - P_2 = \frac{e_1 - E_1}{R_{v_1}} - \frac{E_2 - e_e}{R_{v_3}} \quad (177)$$

În cazul folosirii metodelor grafice pentru determinarea zonei de condens în regim staționar, reprezentarea elementului de construcție se poate face la scara grosimilor (fig. 69-a) sau a permeabilității la vapor, (fig. 69-b). Determinarea pe cale grafică se referă la curba elasticității parțiale a vaporilor de apă și a elasticității reale în cazul cînd rezultă zone susceptibile de condens.

Cantitatea totală de vapor de apă  $P_A$ , ce se acumu-



lează în elementul de construcție, în perioada de iarnă, se calculează cu expresia:

$$P_A = T_i \cdot 24 \cdot P_a \quad (178)$$

în care:

$T_i$  - durata perioadei de iarnă cu temperatura de calcul ce poate produce condens, în zile;

$P_a$  - debitul specific de vapori determinat după metoda regimului staționar în  $g/m^2 \cdot h$ .

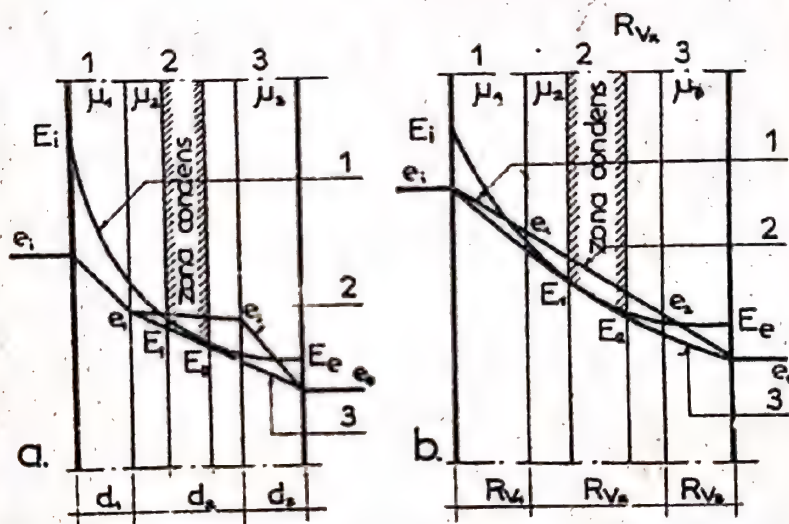


Fig. 69. Determinarea zonei de condens prin metode grafo-analitice: a) la scara grosimilor; b) la scara permeabilității la vapori. 1- curba elasticității maxime; 2- curba elasticității parțiale; 3- curba elasticității reale.

Debitul specific de vapori de apă  $P_a$  care poate fi eliminat în condiții de vară, este dat de relația:

$$P_a = P_1 + P_2 = \frac{e_i - E_1}{R_{v1}} + \frac{E_2 - e_e}{R_{v3}} \quad (179)$$

Cantitatea totală de vapori de apă,  $P_A$  ce poate fi eliminată din elementul de construcție, în condiții de vară, se

poate estima folosind expresia:

$$P_A^p = T_v \cdot 24 \cdot P_a^p \quad (180)$$

în care:

-  $T_v$ , numărul de zile, din perioada de vară, în care există condiții de eliminare a apei din structura elementului de construcție.

Condiția de exploatare normală a construcției și de evitare a umezirii excesive implică asigurarea egalității între cantitatea de apă ce condensează iarna și cantitatea de apă ce poate fi eliminată vara, ceea ce se poate exprima astfel:

$$P_A \approx P_A^p \quad (181)$$

#### 2.4. Procesul de umezire și uscare a elementelor de construcție, în regim nestaționar.

Umezirea și uscarea elementelor de construcție este un fenomen complex, în decursul căruia se satisfac legăturile menționate și se echilibrează nivelele de presiune a vaporilor de apă, sub acțiunea simultană a cîmpurilor de tensiune de absorbție, tensiunii superficiale a apei, a gradientului de temperatură, a tendinței de difuzie și a gravitației. Uigrarea apei în materiale are loc prin acțiunea curenților din spațiile goale cit și prin difuzie. În mod simplificat fenomenul poate fi studiat analitic, în primă aproximație, pe baza ecuației diferențiale:

$$\frac{\partial e}{\partial T} = K \cdot \left( \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial z^2} \right) \quad (182)$$

în care:

- $e$ , elasticitatea parțială a vaporilor de apă;
- $x, y, z$ , coordonate spațiale ;
- $T$ , timpul ;



-  $K$ , coeficientul de difuzie a umidității, în  $m^2/h$ , definit de expresia:

$$K = \frac{\delta}{\varphi \cdot \rho} \quad (183)$$

în care:

-  $\delta$ , coeficientul de conductivitate la vapori de apă, în  $g/m.h.mm$  col Hg ;

-  $\varphi$ , capacitatea specifică de vapor, în  $g/Kg$  mm col Hg ;

-  $\rho$ , greutatea specifică aparentă în  $Kg/m^3$ .

În cazul curent al difuziei vaporilor de apă, după o direcție, variația elasticității parțiale a vaporilor de apă și deci a umidității materialului este exprimată de relația:

$$\frac{\partial e}{\partial T} = \frac{\delta}{\varphi \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} \quad (184)$$

În vederea rezolvării ecuației diferențiale (184), prin diferențe finite, se admit următoarele aproximații:

- coeficientul de conductivitate la vapor de apă este constant ;

- temperaturile  $t_i$  și  $t_e$  ale aerului interior și exterior sînt constante;

- timpul termic în masa elementului de construcție se consideră constant deoarece condițiile transmiterii termice se stabilesc mai repede decît condițiile difuziei vaporilor de apă.

În diferențe finite relația (184) se prezintă sub formă:

$$\frac{\Delta e}{\Delta T} = \frac{\delta}{\varphi \cdot \rho} \cdot E_t \cdot \frac{\Delta^2 e}{\Delta x^2} \quad (185)$$

S-a înlocuit  $\varphi$  prin produsul  $\varphi_0 \cdot \frac{1}{E_t}$  în care  $\varphi_0$  este capacitatea specifică de vapor în funcție de elasticitatea mari-

mă a vaporilor de apă  $E_t$  corespunzător temperaturii  $t$  din stratul considerat.

Pentru soluționarea ecuației cu diferențe finite (185) în cazul elementelor omogene, acestea se consideră împărțite în straturi de grosime  $\Delta x$  (fig. 70) în trei secțiuni succesive  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$  ale elementului omogen, elasticitatea vaporilor de apă,  $e_n$  la timpul  $T + \Delta T$  în straturi  $n$ , se calculează cu expresia:

$$e_{n,T+\Delta T} = e_{n,T} + (e_{n-1,T} + e_{n+1,T} - 2e_{n,T}) \cdot E_n \cdot \frac{\delta}{\rho \cdot g} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x^2} \quad (186)$$

în care:

-  $e_{n,T}$ ,  $e_{n-1,T}$ ,  $e_{n+1,T}$ , elasticitățile vaporilor de apă la timpul  $T$ ;

-  $E_n$ , elasticitatea maximă a vaporilor de apă corespunzătoare temperaturii suprafeței  $n$ .

Dacă se consideră intervalul de timp  $\Delta T$  egal cu  $\Delta T_{max}$  conform expresiei:

$$\Delta T_{max} = \frac{\Delta x^2}{2 \cdot \frac{\delta}{\rho \cdot g} \cdot E_n} \quad (187)$$

elasticitatea vaporilor de apă la timpul  $T + \Delta T$  este dată de relația:

$$e_{n,T+\Delta T} = \frac{e_{n-1,T} + e_{n+1,T}}{2} \quad (188)$$

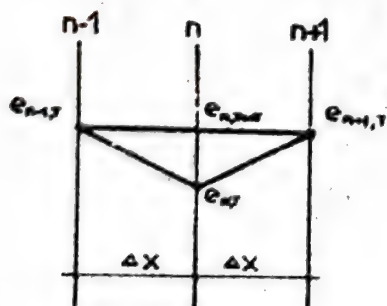


Fig. 70. Linia elasticității vaporilor de apă la elemente omogene.

Relația (188) exprimă că elasticitatea vaporilor de apă pe suprafața  $n$ , la intervalul de timp  $T + \Delta T_{max}$  este egală cu semisuma elasticităților vaporilor de apă pe suprafețele învecinate  $n-1$ ,  $n+1$  la timp  $T$ , ceea ce constituie principiile metodei grafice de determinare a variației elasticității vapo-



rilor de apă și deci a umidității în elementul de construcție.

În stratul  $n$ , umiditatea relativă a aerului este:

$$u_n = \frac{e_n}{E_n} \quad (189)$$

Pe baza izotermelor de sorbție ale materialelor se calculează umiditățile  $\omega_n$  ale elementelor de construcție la timpul  $T + \Delta T$ .

Dacă  $e_n > E_n$ , are loc fenomenul de condens și la calculul umidității materialului se va lua în considerare umiditatea de saturație corespunzător la  $u_n = 100\%$ , la care se adaugă cantitatea de umiditate condensată.

În probleme plane de difuzie a vaporilor de apă, în regim permanent sau variabil, poate avea în vedere posibilitatea analizei fenomenelor de condens luând în considerare cercetările realizate la Iași de A. Radu (22) bazate pe extinderea metodelor analogice electrice la studiul higrotermic al elementelor de construcție.

În acest caz, pentru probleme plane, considerând  $C$  și  $D$  constante, iar  $T$  și  $R_D$ , variabile cu  $x$  și  $y$ , ecuațiile, în regim staționar și variabil, privind difuzia vaporilor prin elementele de construcție, se prezintă sub formele (190), (191) cu condiția ca  $e < E$ .

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{TR_D} \frac{\partial e}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{TR_D} \frac{\partial e}{\partial y} \right) = 0 \quad (190)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{TR_D} \frac{\partial e}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{TR_D} \frac{\partial e}{\partial y} \right) = P_a(x, y) \quad (191)$$

în care  $P_a(x, y)$  reprezintă cantitatea de apă condensată în elementul de construcție.

În afara zonei de condens  $P_a(x, y) = 0$ . La limita între zonele cu și fără condens, există condiția :

$$\delta \left| \frac{\partial e}{\partial n} \right| = \delta \left| \frac{\partial E}{\partial n} \right| \quad (192)$$

Delimitarea zonelor cu și fără condens, care admit ecuații diferite se face pe baza unui calcul laborios, în mai multe etape, putându-se adapta la mașinile de calcul algebric sau experimental prin folosirea metodei de modelare electrică. În acest caz se are în vedere ecuația câmpului electric plan, în regia variabil:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_e \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_e \frac{\partial V}{\partial y} \right) = i(x, y) \quad (193)$$

respectându-se condițiile de similitudine similare cerutărilor problemelor termice plane cu observația că în cazul fenomenelor de difuzie valoarea potențialului nu poate depăși mărimile corespunzătoare presiunilor de saturație din punctele respective, ce sînt funcție de temperatură.

## D. SCHIMBUL DE AER ÎN CONSTRUCȚII.

### 1. Generalități.

Permeabilitatea la aer a elementelor de construcție caracterizează schimbul de aer pe cale naturală între încăperile clădirilor și mediul ambiant și interesează în legătură cu aprinderea capacităților de ventilare în raport cu asigurarea condițiilor de confort și tehnologie. Un om adult, în condiții normale de temperatură consumă 20-25 l de oxigen pe oră, atunci cînd efectuează un lucru mecanic mijlociu (5000 Kg fm/h) (11,23).

Necesarul de aer din încăperi pentru compensarea consumului de oxigen trebuie calculat avîndu-se în vedere că în urma combustiei interne, omul degajă dioxid de carbon, amoniac, amine



grase, sulf și vapori de apă. Ținând seama de cerințele igienice în clădirile civile și social-culturale și de cerințele tehnologice în încăperile de producție este necesar ca aerul interior să-și păstreze componența sa în limite acceptabile. Aerul natural pe care-l inspiră omul se compune din oxigen 20,9 %, azot și argon 78,77 %, acid carbonic 0,35 % și o cantitate variabilă de vapori de apă. Aerul expirat conține în medie oxigen 15,4 %, azot și argon 78,11 %, acid carbonic 4,4 % și este saturat cu vapori de apă.

Pentru asigurarea condițiilor de viață este indicat ca oxigenul din aer să nu coboare sub 17 %. La procentul de 11% oxigen în aer, omul rezistă o durată limitată. Limita maximă privind cantitatea de  $CO_2$  pe care o poate conține aerul dintr-o încăpere pentru a putea permite prezența omului, pe timp limitat, este de 40 %, iar la șederea mai îndelungată 1...2 %. Pentru confort superior conținutul aerului în  $CO_2$  trebuie să fie sub 0,003%.

Pentru asigurarea condițiilor normale în încăperi în ceea ce privește compoziția aerului, este necesar ca ventilarea pe cale naturală să asigure următoarele schimburi pe oră ale volumului de aer din încăperi, în funcție de destinația acestora.

- Bucătării.....(2...3) V/h ;
- Bate, duș .....(2..3) V/h ;
- Grup sanitar în locuințe.... 25 mc/secaun ;
- Cameră de locuit,...(0,5...0,75) V/h.

La structurile tradiționale de pereți din zidărie ceramică, porozitatea naturală a materialelor ceramice asigurau ventilația naturală a încăperilor, fără o preocupare specială prin proiectare. Adoptarea unor structuri noi bazate pe folosirea betonului vibrat și a structurilor din materiale impermeabile face ca problema permeabilității la aer a elementelor de construcție

să fie actuală. În anumite cazuri problema se poate pune sub aspectul unei permeabilități prea mari a elementelor de construcție.

Astfel la structurile elementelor ceramice microfisurile din contracție sînt repartizate uniform în masa materialelor și conduc la o permeabilitate de aer acceptabilă practic. La structuri de elemente monolite sau chiar din prefabricate din beton armat pot avea loc concentrări ale fisurilor în anumite secțiuni, în special la îmbinări, care pot avea influență defavorabilă asupra permeabilității locale la aer a elementelor de construcții.

Gradul de permeabilitate la aer a elementelor de construcție este influențat de rezistența la permeabilitatea la aer a elementelor în funcție de structura fizică a materialelor, de nestanșeitățile ferestrelor, de condițiile de climat interior și exterior, în primul rînd de acțiunea vîntului.

În funcție de destinația încăperilor, de condițiile de climat și de etanșeitățile elementelor de construcție, ventilația naturală se asigură prin canalele de ventilație, orificii de ventilație în pereți și prin deschiderea sistematică a ușilor și ferestrelor. Pentru ca viteza aerului să nu fie jenantă fizic, se recomandă să nu depășească 0,5...1,0 m/s.

#### 1.1. Baza fizică a schimbului de aer din încăperi.

Schimbul de aer între încăperile unei construcții și mediul înconjurător se datorește diferenței de presiune între aerul interior și aerul exterior. Diferența de presiune  $\Delta p$  între aerul interior și exterior este de natură termică sau provocată de acțiunea vîntului pe suprafața exterioară a elementului de construcție.

Presiunea termică se datorește faptului că la aceeași presiune barometrică, aerul exterior este mai greu, fiind mai rece, în comparație cu aerul interior care este mai cald. Datorită



diferenței de temperatură și deci de greutate, ia naștere o diferență de presiune (fig.71), care la distanța  $h$  de axa neutră prezintă valoarea:

$$\Delta p = h \cdot (\rho_i - \rho_e) \quad (194)$$

în care:

- $h$ , distanța de la planul neutru pînă la secțiunea considerată în mm;
- $\rho_e, \rho_i$ , greutatea specifică a aerului, în  $\text{Kg/m}^3$ , care la presiunea barometrică de 760 torri se va lua conform datelor din anexa XXI.

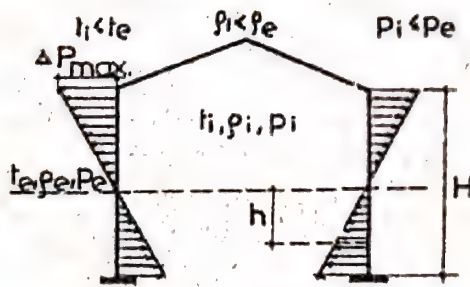


Fig. 71. Presiunea aerului în încăperi

Greutatea specifică a aerului  $\rho_a$ , se poate calcula în funcție de temperatură cu relația:

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + t/273} \quad (195)$$

În cazul cînd nu sînt ferestre deschise și elementele de construcție au aceeași permeabilitate pe toată înălțimea, diferența maximă de presiune rezultă:

$$\Delta p_{max} = 0,5 \cdot H \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad (196)$$

Pentru transformarea unităților de măsură a presiunii aerului din  $\text{Kg/m}^2$ , în torri se are în vedere relația:

$$p \text{ (Kg/m}^2\text{)} = 13,595 \cdot p \text{ (torri)} \quad (197)$$

Presiunea datorită vîntului, se calculează cu relația:

$$\Delta p_v = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \cdot \frac{V^2 \cdot \rho_a}{2g} \quad (198)$$

în care:

-  $\eta_1, \eta_2$  coeficienții aerodinamici având valorile  $\eta_1 = 0,80$  pentru partea bătută de vânt și  $\eta_2 = 0,4$  pentru partea opusă;

-  $v$ , viteza vântului, în m/sec ;

-  $\rho_a$ , greutatea specifică a aerului, în Kg/m<sup>3</sup> ;

-  $g$ , accelerația gravitației egală cu 0,81 m/sec<sup>2</sup>.

Pentru viteza vântului cuprinsă între 1 și 15 m/sec,  $\Delta p_v$  în mm col H<sub>2</sub>O se poate lua din tabelul 2:

Tabelul 2

Diferența de presiune  $\Delta p_v$  datorită vântului.

$v$ m/sec	1	2	4	7	10	15
$\Delta p$ mm col H <sub>2</sub> O	0,04	0,16	0,64	1,96	4,00	9,00

## 1.2. Caracteristicile de permeabilitate la aer a elementelor de construcții.

Permeabilitatea la aer a materialelor de construcție se exprimă prin coeficientul "i" de permeabilitate, care reprezintă cantitatea de aer ce trece printr-un cub de material cu latura de 1 m, timp de o oră și pentru o diferență de presiune între suprafețele opuse, de 1 mm col H<sub>2</sub>O, având dimensiunea Kg/m.h. mm col H<sub>2</sub>O.

Permeabilitatea la aer  $P_a$ , în Kg/m<sup>2</sup>.h.mm col H<sub>2</sub>O, a elementului de construcție omogen de grosime "d" este dată de relația:

$$P_a = \frac{q}{d}$$

( 199 )



Rezistența la permeabilitatea la aer a unui element omogen de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$ , este inversul permeabilității la aer:

$$R_a = \frac{1}{P_a} = \frac{d}{i} \quad (200)$$

Pentru principalele materiale de construcție se prezintă rezistențele la permeabilitate la aer în anexa IXII, cuprinse între  $0,2 m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$  (vată minerală de 5 cm) și  $2000 m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$  (beton de 10 cm grosime).

Rezistența efectivă la infiltrația aerului prin elementele de construcție exterioare, în mai multe straturi, se calculează cu expresia:

$$R_{a_{ef}} = R_{a_1} + R_{a_2} + \dots + R_{a_n} = \sum_{i=1}^n R_{a_i} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{i} \quad (201)$$

în care:

-  $R_{a_i}$  rezistența efectivă la infiltrația aerului a unui strat component, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$ .

Debitul specific de aer  $W$ , în  $Kg/m^2 \cdot h$  ce trece printr-un element de construcție este:

$$W = i \cdot \frac{\Delta p}{d} = \frac{\Delta p}{R_{a_{ef}}} \quad (202)$$

în care:

-  $R_{a_{ef}}$ , rezistența efectivă la trecerea aerului prin elementul de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$ ;

-  $\Delta p$ , diferența de presiune între aerul interior și exterior în  $mm$  col  $H_2O$ .

### 1.3. Calculul permeabilității la aer a construcțiilor conform prescripțiilor.

La calculul permeabilității la aer a construcțiilor în-

tervine în primul aspectul limitării schimbului de aer, între interiorul și exteriorul încăperilor, pentru ca pierderile de căldură a elementelor exterioare de construcție să nu depășească 5% pentru construcții civile și de locuit și 10% pentru construcții industriale.

În acest scop este necesar să se asigure respectarea relației:

$$R_{a_{ef}} \approx R_{a_{nec}} \quad (203)$$

în care:

-  $R_{a_{ef}}$ , rezistența la permeabilitatea la aer a elementelor de construcție, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$ , conform anexei XIII ;

-  $R_{a_{nec}}$ , rezistența necesară la permeabilitatea la aer a elementelor exterioare de construcție care se calculează în funcție de rezistența termică necesară  $R_{0_{nec}}$  ( $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/Kcal$ ) și viteza  $v$  (m/sec) a vântului, în  $m^2 \cdot h \cdot mm$  col  $H_2O/Kg$ .

Pentru pereții exteriori, acoperișurile-terasă și planșeele peste gangurile clădirilor publice și de locuit,  $R_{a_{nec}}$  se va lua:

$$R_{a_{nec}} = n \cdot v^2 \cdot R_{0_{nec}} \quad (204)$$

în care:

-  $n$ , factor egal cu 0,10 pentru clădiri publice și de locuit încălzite și cu 0,05 pentru clădirile industriale încălzite ;

-  $v$ , viteza de calcul a vântului din zona geografică respectivă, însă minim 5 m/sec ;

Folosirea pereților exteriori cu o permeabilitate la aer superioară la  $0,4 m^3/m^2/h$  pentru o diferență de presiune a aerului de 1 mm coloană  $H_2O$  este neindicată.



Pentru planșeele de pod și planșeele deasupra solului din clădirile încălzite:

$$R_{a_{nec}} = 0,75 \cdot R_{onec} \quad (205)$$

Pentru straturile pereților exteriori care separă straturile de aer ce nu comunică cu aerul exterior condiția de rezistență la permeabilitatea la aer este :

$$R_{a_{nec}} = 0,008 \cdot v^2 \quad (206)$$

Pentru elementele care separă straturile de aer în pereții exteriori se prescrie :

$$R_{a_{nec}} = 0,2 \cdot v^2 \quad (207)$$

La rosturile dintre elementele exterioare de construcție din panouri mari la clădiri civile și de locuit, rezistența necesară la permeabilitatea la aer este:

$$R_{a_{nec}} = 0,13 \cdot v^2 \cdot R_{onec} \quad (208)$$

Partea exterioară a elementului exterior de construcție având grosimea egală cu 1/4 din grosimea totală a elementului trebuie să aibă rezistența la permeabilitatea la aer egală cu :

$$R_{a_{nec}} = 0,03 \cdot v^2 \quad (209)$$

#### 1.4. Ventilația naturală a încăperilor.

Ventilația naturală a încăperilor se asigură prin :

- porozitatea elementelor de construcție;
- deschiderea ferestrelor și ușilor exterioare;
- neetanșitatea ferestrelor și ușilor exterioare;
- orificii în pereții exteriori ai încăperilor ;

- canale de ventilație ce funcționează datorită diferenței de presiune produsă de vânt sau temperatură.

a. Ventilația naturală datorită porozității materialelor

Ventilația încăperilor datorită porozității materialelor este funcție de compactitatea acestora și structura constructivă a elementelor de construcție. La materialele ceramice porozitatea naturală asigură schimbul normal de aer și vapori de apă, ce permite menținerea purității și umidității în limite acceptabile din punct de vedere al confortului. Structurile de pereți din beton armat prefabricat sau monolit, datorită permeabilității reduse la aer și vapori de apă, implică organizarea ventilației pe cale naturală prin ferestre, orificii și canale, în special în încăperile umede, pentru asigurarea condițiilor de igienă și confort. În cazul pereților perfect etanși (sticlă, panouri aluminiu, etc.) este necesară ventilația aerului cu instalații mecanice de aer condiționat.

b. Ventilația naturală prin deschiderea ferestrelor și ușilor.

Ventilația naturală a încăperilor prin deschiderea ferestrelor se face pe o durată scurtă în timpul iernii și pe o durată mai mare vara. Prin deschiderea sistematică a ferestrelor și ușilor se asigură condiții de aerisire corespunzătoare pentru a se asigura compoziția naturală a aerului și conținutul de umiditate.

c. Ventilația naturală prin neetanșeitățile pereților și ușilor exterioare.

Sub acțiunea vântului, aerul exterior pătrunde în încăperi datorită neetanșeității ușilor și ferestrelor și în oarecare măsură și prin rosturile de construcție.

D I N 4701 prescrie pentru calculul permeabilității la



aer a rosturilor de îmbinare ale ferestrelor, relația:

$$D = a \cdot L \cdot (\Delta p) \frac{2}{3} \quad (210)$$

în care:

- $D$ , debitul de aer în  $m^3/h$ ;
- $a$ , coeficientul de permeabilitate la aer;
- $L$ , lungimea rostului de îmbinare, în  $m$ ;
- $\Delta p$ , diferența de presiune dintre aerul interior și exterior în  $mm H_2O$ ;

d. Ventilația încăperilor prin orificii în pereții exteriori.

Ventilarea naturală organizată, bazată pe acțiunea simultană sau independentă a temperaturii și vântului se poate aplica atât la clădiri civile și social-culturale, la încăperi cu degajări mari de vapori de apă, cât și la clădiri industriale.

Cantitatea de aer ce trece prin orificiul de secțiune  $A$ , în  $m^2$ , sub acțiunea diferenței de presiune dintre aerul interior și exterior  $\Delta p = h \cdot (\rho_e - \rho_i) \text{ Kgf/m}^2$ , este dată de relația:

$$D = A \cdot m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (\rho_e - \rho_i)}{\rho_e}} \quad (211)$$

în care:

- $m$ , coeficient de trecere și de strângere a curentului de aer, cu valoarea 0,64 pentru orificii de secțiune dreptunghiulară;
- $h$ , distanța de la planul neutru la axul orificiului, în  $m$ ;
- $\rho_i$ ,  $\rho_e$ , densitatea aerului interior și exterior, în  $Kg/m^3$ .

e. Ventilația naturală prin canale de ventilație.

Ventilația naturală a încăperilor prin canale de

ventilație depinde de permeabilitatea la aer a orificiilor și de pierderile de sarcini ce intervin și care sînt:

- locale (intrare, ieșire, coturi, traseele conductelor) ;
- liniare, pe pereții orificiilor, datorită frecărilor.

Pentru calculul debitului de aer prin canale se poate folosi relația experimentală a lui Reither :

$$D \approx 2 \cdot L \cdot \frac{b}{h^2} \cdot \left( \frac{\Delta p}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (212)$$

în care:

- $D$ , debitul de aer în orificiu, în  $m^3/h$  ;
- $L$ , lungimea canalului, în  $m$  ;
- $b$ , lățimea canalului în  $m$  ;
- $h$ , înălțimea canalului, în  $m$  ;
- $\Delta p$ , diferența de presiune, în  $mm$  col  $H_2O$ .

După normele britanice debitul de aer prin canalele de ventilație se calculează cu expresia :

$$D = \eta \cdot 2200 \cdot A \cdot V \quad (213)$$

în care:

- $A$ , suprafața canalului, în  $m^2$  ;
- $V$ , viteza aerului, în  $m/s$  ;
- $\eta$ , coeficient în funcție de raportul dintre suprafața canalului de ventilație la intrare  $A_i$  și ieșire  $A_e$ , conform tabelului 3.

Tabelul 3

$A_i/A_e$	1	2	4	5	3/4	1/2	1/4
$\eta$	1	1,25	1,37	1,4	0,86	0,64	0,35



În cazul vântului la  $45^\circ$ , debitul de aer este diminuat la jumătate.

Viteza aerului în m/s prin canalele de ventilație se calculează cu relația simplificată:

$$v = 0,25 \cdot \sqrt{h_a (t_e - t_i)} \quad (214)$$

în care:

- $h_a$ , înălțimea activă a canalului, în m ;
- $t_i$ ,  $t_e$  temperaturile aerului interior și exterior ;

în  $^\circ\text{C}$  ;

Cantitatea de aer ce urmează a se lua calcule rezultă din numărul schimburilor de aer pe oră ce urmează a fi asigurat, în raport cu destinația încăperilor :

- bucătărie..... 3 schimburi/h sau  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  ;
- baie, duș..... 3 " " sau  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  ;
- camera de locuit..... 0,5....0,75 schimburi/h sau  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Cînd calculul canalelor de ventilații se face numai pe baza presiunii dată de gravitație, în condiția egalității suprafețelor gurilor de absorbție și refulare în pereți, se poate folosi relația simplificată;

$$D = 420 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta t} \quad (215)$$

- $D$ , debitul aerului, în  $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$  ;
- $H$ , distanța pe verticală între centrele orificiilor de absorbție și refulare, în m ;
- $\Delta t$ , diferența de temperatură între aerul interior și exterior în  $^\circ\text{C}$ .

## E. CARACTERISTICILE HIGROTHERMICE ALE PEREȚILOR ȘI ACOPERISURILOR

### 1. Caracteristicile higrotermice ale pereților.

Comportarea higrotermică a pereților depinde de caracteristicile fizice ale materialelor folosite și de modul de alcătuire a structurilor. Pereții omogeni prezintă în general o comportare bună din punct de vedere a rezistenței termice, a permeabilității la vapori de apă și aer, dacă materialele folosite au densitatea aparentă cuprinsă între 1200 și 1800 Kg/m<sup>3</sup>, iar condițiile de microclimat sînt în limite obișnuite  $t_i = 18^{\circ} \dots 22^{\circ}$  ( $18^{\circ}$  în camere de zi,  $22^{\circ}$  în bîi și  $22^{\circ}$  la confort superior și  $U_i = 50\% \dots 60\%$ ). În condiții de umiditate mai mare este necesară protecția interioară cu bariere de vapori.

La structuri neomogene de pereți, în mai multe straturi, din materiale cu densități aparente variate, de la  $\rho = 50 \text{ Kg/m}^3$  în cazul polistirenului expandat la  $\rho = 2400 \text{ Kg/m}^3$ , în cazul betonului vibrat, folosit la panouri mari și structuri monolite, trebuie avute în vedere anumite principii referitoare la comportarea higrotermică care condiționează exploatarea normală a clădirilor.

Aceste principii se referă la rezistența termică minimă, comportarea structurilor în zona punților și la colțuri, permeabilitatea la vapori de apă și caracteristicile de amortizare și defazaj a oscilațiilor termice.

#### 1.1. Rezistența minimă necesară.

La determinarea rezistenței termice minime a pereților se are în vedere inegalitatea:

$$R_{\text{nee}} > R_{\text{ef}} \quad (216)$$



în care:  $R_{nec}$  = rezistența termică necesară și  $R_{ef}$  rezistența termică efectivă, în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ .

$$R_{nec} = \frac{t_i - t_e}{\alpha_i \cdot \Delta Z_i \cdot m \cdot n \cdot b} \quad (217)$$

iar:

- $m$ , coeficient de corecție în funcție de masivitatea peretelui conform datelor din capitolul *Higrotermica*;
- $n$ , coeficient de corecție, în funcție de poziția elementului de construcție, avînd valoarea 1 în cazul pereților;
- $b$ , coeficient de corecție, în funcție de natura materialului termoisolant, luînd în considerare creșterea conductivității datorită tasării.

Valorile coeficientului  $b$  se vor lua:

$b = 1,2$  pentru elemente exterioare, izolate termic cu materiale supuse îndesării, deformații și tasării, cum sînt vata minerală, polistiren expandat, etc.;

$b = 1,1$  pentru elemente exterioare izolate cu materiale avînd  $\rho = 400 \text{ Kg/m}^3$ ;

$b = 1$  pentru alte elemente de construcție.

Pentru clădiri de locuit, spitale, grădinițe de copii orașe, considerînd  $t_i = +20^\circ C$  și  $\Delta Z_i = 6^\circ C$ , anexa IX, capitolul *Higrotermica* 8, în funcție de  $t_e$  (pentru zonele climatice din R.S.România - I-a, II-a, III-a) rezultă conform datelor din tabelul 4.

Tabelul 4

Zona climatică	Temperatura exterioară de calcul $^\circ C$	Rezistența termică necesară în $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$
I-a	- 12	0,76

II - a	- 15	0,83
III - a	- 18	0,90

pentru clădiri publice, teatre, cinematografe, școli, cluburi, anexe social-culturale, pentru  $t_i = + 18^{\circ}\text{C}$  și  $\Delta t_e = 7^{\circ}\text{C}$ ,

$R_{\text{onec}}$  rezultă, conform valorilor din tabelul nr.5

Tabelul 5

Rezistența termică minimă necesară  $R_{\text{onec}}$  la clădiri publice.

Zona climatică	Temperatura exterioară de calcul $^{\circ}\text{C}$	Rezistența termică necesară $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$
I-a	- 12	0,61
II-a	- 15	0,67
III-a	- 18,	0,74

La structuri de pereți omogeni cu tencuială și la pereți în mai multe straturi, perpendiculare pe direcția fluxului termic, rezistența termică efectivă  $R_{ef}$ , se calculează cu expresia:

$$R_{ef} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (218)$$

La pereți din zidărie de cărămidă cu găuri este necesar să se cunoască conductivitatea termică echivalentă ( $\lambda_{ech}$ ) a materialului de bază. Pentru blocuri și cărămidă ceramice cu  $\lambda_c = 0,70 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  se poate determina  $\lambda_{ech}$  ... în funcție de forma, dimensiunile și procentul volumului de găuri, pe baza modelării analogice electrice, folosindu-se relația:



$$\lambda_{ech} = 0,65 - 0,8 \cdot p \quad (219)$$

în care:

-  $p$ , procentul volumului de găuri verticale, cuprins între 0,15 și 0,40.

La pereți din zidărie cu blocuri mici cu găuri, comportarea termică este funcție și de orientarea găurilor. Astfel la pereți din blocuri cu găuri verticale, rezistența termică și rezistența mecanică de compresie sînt maxime (fig.72), avînd în vedere poziția în perete a materialelor. Rezistența mecanică a blocurilor cu găuri orizontale este mică iar pierderile de căldură sînt mari datorită transmisiei căldurii prin convecție orizontală a aerului din găuri (fig.72-b).

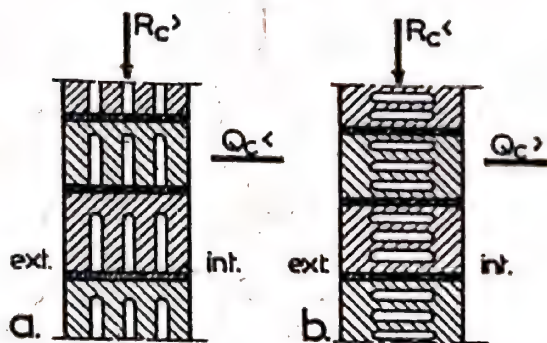


Fig.72. Rezistența la compresie și rezistența termică la pereți din blocuri cu găuri: a) găuri verticale; b) găuri orizontale.

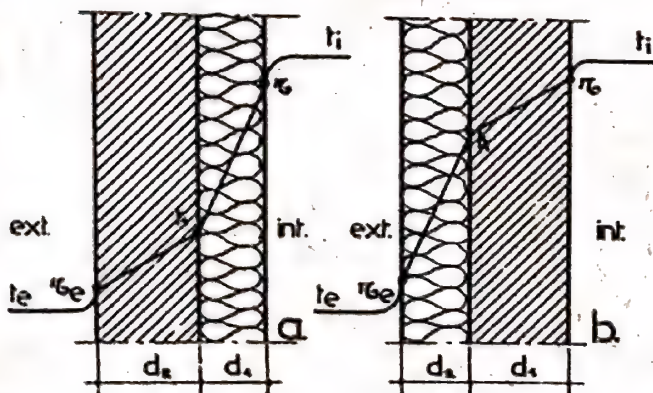


Fig.73. Influența poziției izolației termice la pereți în 2 structuri: a) izolația la interior; b) izolația la exterior.

În funcție de caracteristicile găurilor, pentru " $p$ " cuprins între 15% și 30%, se poate ob-

ține o creștere a eficienței termice a cărămizilor și blocurilor ceramice cu 23% pînă la 112%.

Pentru calculul rezistenței termice a pereților din zidărie eficientă este necesar să se determine coeficientul mediu de conductivitate termică a zidăriei, ce se poate face cu relația:

$$\lambda_{med. zid} = \frac{\lambda_{ech} \cdot V_{bloc} + \lambda_{mor} \cdot V_{mor}}{V_{bloc} + V_{mor}} = K_1 \cdot \lambda_{ech} + K_2 \cdot \lambda_{mor} \quad (220)$$

în care:

- $\lambda_{med. zid}$  coeficientul de conductivitate termică a zidăriei, în Kcal/m.h.°C ;
- $\lambda_{sch. bloc}$  coeficientul echivalent de conductivitate termică a cărămizilor și blocurilor ceramice, în Kcal/m.h.°C ;
- $\lambda_{mor}$  coeficientul de conductivitate termică a mortarului, în Kcal/m.h.°C ;
- $V_{bloc}$  volumul de cărămizi sau blocuri, corespunzător la 1 mc de zidărie, exprimat în m<sup>3</sup> ;
- $V_{mor}$  volumul de mortar corespunzător la 1 mc de zidărie exprimat în m<sup>3</sup> ;
- $K_1, K_2$  coeficienți care sînt prezentați în tab.6

Rezistența termică efectivă a peretelui din zidărie eficientă, fără tencuială, este:

$$R_{ef} = R_1 + \frac{d}{\lambda_{med. zid}} + R_2 \quad (221)$$

în care:

- $d$ , grosimea peretelui în cm.

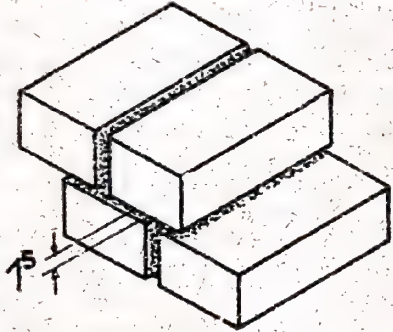
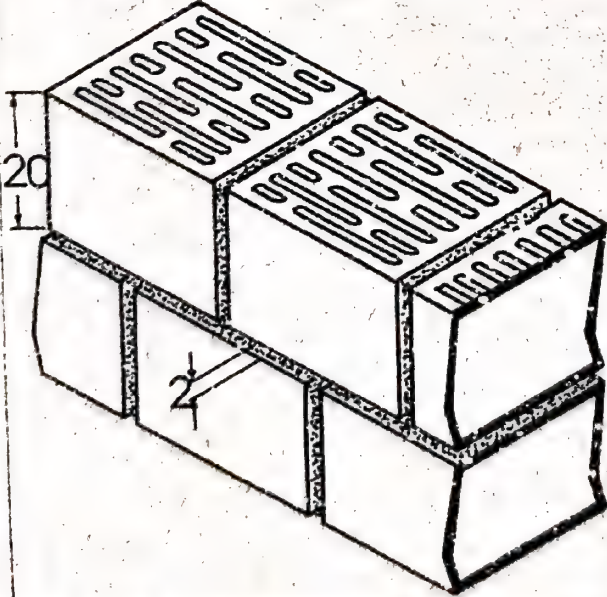
## 1.2. Influența poziției straturilor de izolație termică în pereți, în condiții de regim termic staționar.

La structuri de pereți în straturi fără punți poziția



Tabelul 6.

Coeficienții  $K_1$  și  $K_2$  de calcul pentru conductivitatea medie a zidăriei de cărămidă și blocuri.

nr. crt.	TIPUL DE CARAMIDA	$K_1$	$K_2$
1.	<p>zidărie de cărămidă obişnuită</p> 	0.75	0.25
2.	<p>zidărie din blocuri mari</p> 	0.84	0.16

stratului termoisolant depinde în mare măsură de regimul de încălzire al clădirii. La structuri de pereți în două straturi, fig. 73, izolația termică dispusă la interior conduce la diferențe mari de temperatură pe grosimea izolației,  $\Delta t_1 = t_i - t_1$  și la diferențe mici pe grosimea betonului,  $\Delta t_2 = t_1 - t_e$ . Se remarcă deci inegalitatea  $\Delta t_1 > \Delta t_2$ . Stratul de beton dispus la exterior suportă integral efectul variațiilor de temperatură a aerului și efectul variației solare. În condiții de iarnă betonul este supus înghețului. Încălzirea încăperii se realizează repede, structura de perete cu izolație la interior fiind judicioasă deci la încălzire discontinuă. La încetarea funcționării instalației răcirii încăperii este rapidă. Efectul de transmisie termică a căldurii de la exterior la interior este redus.

La peretele cu izolație termică dispusă la exterior fig. 73 b, betonul este mai cald și structura este judicioasă la regim continuu de încălzire. Încălzirea pereților se face mai greu având în vedere masa mare a stratului portant interior din beton. Având în vedere protecția termică exterioară răcirii peretelui se face mai greu. Variațiile rapide ale temperaturii aerului exterior nu acționează brusc asupra aerului încăperii.

Deformațiile din variațiile de temperatură sînt mai reduse.

La structuri de pereți în 3 straturi, în cazul cînd izolația termică este dispusă la interior, fig. 74. a, diferența de temperatură  $\Delta t = t_1 - t_2$  pe grosimea izolației este maximă în raport cu căderile de temperatură pe grosimile straturilor de beton. Stratul interior de beton este mai cald iar structura de perete este judicioasă la încălzire discontinuă. În cazul izolației termice cu dispoziția spre exterior, fig. 74. b, diferența de temperatură în stratul portant este minimă, fiind determinată cu relația



$\Delta t = t_i - t_e$ , stratul de masă mare este mai cald iar structura în general este judicioasă la sistem de încălzire continuu.

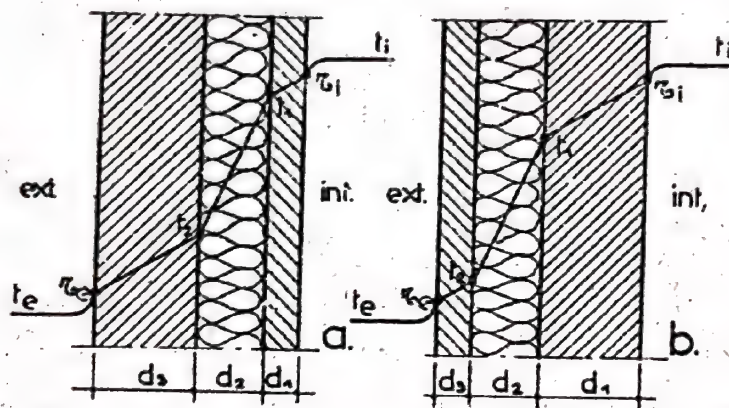


Fig.74. Influența poziției izolației termice la pereți în 3 straturi. a) izolația spre interior ; b) izolația spre exterior.

Dacă se utilizează structura cu izolație dublă, fig.75, exterioară și interioară se compensează avantajele și dezavantajele izolației exterioare și interioare. Pentru a reduce deformările părții centrale a peretelui din beton, sub efectul variațiilor de temperatură, coeficientul de izolație termică a stratului izolant exterior trebuie să corespundă unei valori minime.

Adoptarea structurii simetrice de beton, cu izolație la interior, fig.76, conduce la divizarea părții portante a elementului în 2 părți separate.

Sub acțiunea sarcinilor din planșee și grinzi, partea interioară este supusă la deformări din încovoiere, mai mari față de partea exterioară, care va fi supusă la variații de temperatură și la mișcări de mare amplitudine. Izolația termică prezintă interes numai deplasat spre exterior astfel ca stratul interior să devină integral portant.

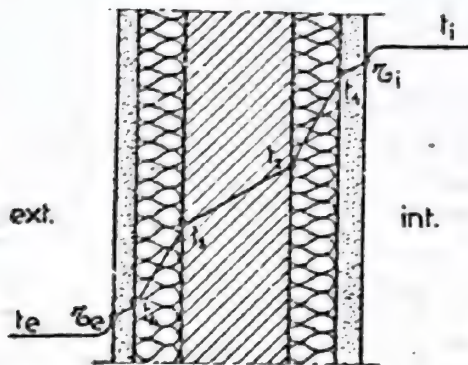


Fig. 75. Curba temperaturilor la perete cu izolație dublă la interior și exterior.

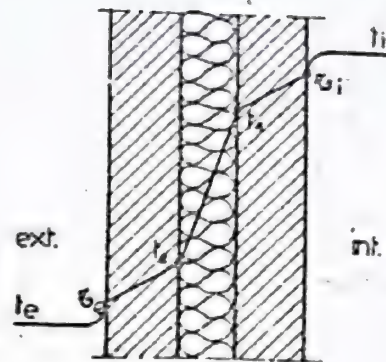
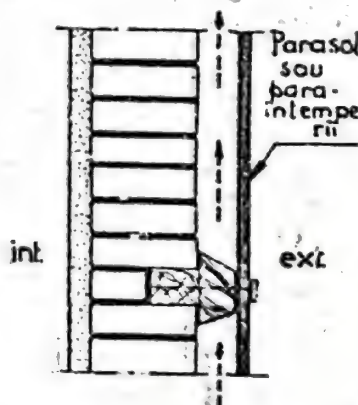


Fig. 76. Curba temperaturilor la perete simetric, cu izolație la mijloc.

Utilizarea de înbrăcăminți exterioare, în piatră artificială sau naturală, ardexie, fibrociment, oțel, sticlă sau aluminiu, conduce la realizarea unui perete dublu, fig. 77, ce implică în mod necesar o ventilație eficientă în spatele înbrăcăminții. Ventilația intermediară asigură tot odată uscarea peretelui și evaporarea umidității rezultând din precipitațiile atmosferice.



Stratul exterior servește ca parasol și protecție contra intemperțiilor pentru restul peretelui dinapre interior.

### 1.3. Influența poziției straturilor de izolație termică, în condiții de regim variabil.

Sînt de analizat două soluții de principiu, cu izolație termică la interior și

Fig. 77. Perete cu strat respectiv la exterior.

de aer exterior ventilat.

În cazul structurii de perete cu izolația termică la interior, fig. 78, în regim variabil, ca și în condițiile încălzirii discontinue, adoptarea soluției optime este



influențată de durata de utilizare a încăperilor pe perioada de 24 ore.

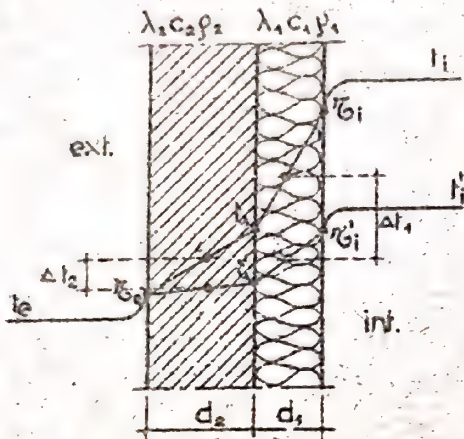


Fig. 78. Capacitatea de acumulare termică a peretelui cu stratul termoizolant la interior.

La utilizarea de durată mică este indicată structura de pereți cu izolantul termic la interior, deoarece capacitatea de acumulare termică a acestui strat este mică și deci este valabilă inegalitatea:

$$A_1 = \lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot d_1 \cdot \Delta t_1 < \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot d_2 \cdot \Delta t_2 \quad (222)$$

Durata necesară încălzirii stratului termoizolant fiind redusă, ridicarea temperaturii aerului interior este rapidă.

La încălzire continuă, în cazul structurilor de pereți din mai multe straturi este indicată soluția cu stratul de mare acumulare la interior, fig. 79 deoarece în acest caz este verificată inegalitatea:

$$A_1 = \lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot d_1 \cdot \Delta t_1 > \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot d_2 \cdot \Delta t_2 \quad (223)$$

Cantitatea de căldură acumulată de stratul interior este în acest caz mai mare și face ca oscilațiile temperaturii aerului exterior să nu conducă la căderi de temperatură ale aerului interior care să afecteze confortul, având în vedere efectul de volant termic al stratului interior cu mare capacitate de acumulare termică.

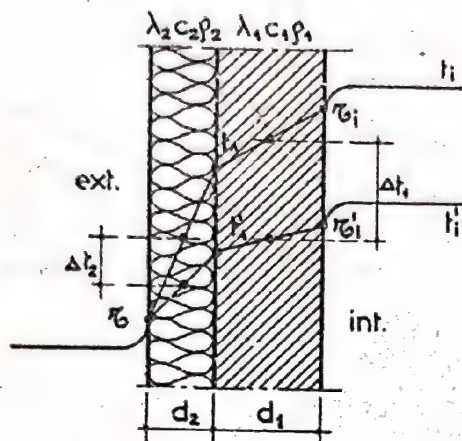


Fig. 79. Capacitatea de acumulare termică a peretelui cu stratul termoizolant la interior.

de izolație din beton celular, beton de zgură expandată, beton de argilă expandată, prezentând o alcătuire judicioasă din punct de vedere al comportării în regim variabil.

#### 1.4. Rezistența termică a pereților la colțuri.

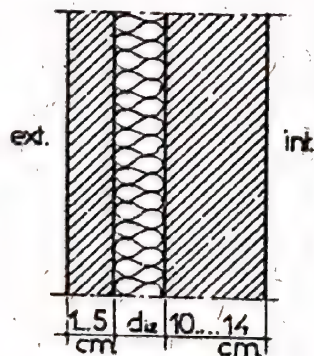


Fig. 80. Structură de perete în trei straturi utilizată în R.S.R.

I- Strat inte-

Structurile de pereți din panouri mari prefabricate ca și pereții din beton armat, adoptate în Republica Socialistă România, constau în principiu dintr-un strat, de masă mare la interior, de 10...14 cm grosime din beton greu (fig. 80), strat exterior de protecție a termoizolației din beton greu de 4...6 cm și strat intermediar termoizolator din materiale organice cu grosimea  $d_{12} = 4...6$  cm, în cazul izolației din polistiren expandat,  $d_{12} = 6...8$  cm la vată minerală și  $d_{12} = 10...14$  cm la materiale

La colțurile pereților intervin fenomene specifice privind transmitia termică. Datorită suprafeței exterioare mărite a colțurilor de pereți are loc o creștere a transmitiei căldurii prin conducție pe două direcții, fig. 81. Micșorarea curenților de aer determină micșorarea transmitiei căldurii prin convecție exterioară. Ca rezultat al acestor fenomene, ce se suprapun, are loc la col-



rior de beton armat;  
2- strat izolant;  
3- strat exterior de beton armat.

ŕuri micșorarea temperaturii pereților, condens și mucegai. A.P. Weber propune determinarea temperaturii minime de colț cu ajutorul unei relații bazată pe suprapunerea transmisiei termice liniare

după cele două direcții perpendiculare pe pereții colțului, având forma:

$$t_c = t_i - 1,42 \cdot \frac{R_{ic}}{R_{oc}} \Delta t \geq t_r \quad (224)$$

în care:

- $t_c$ , temperatura în zona de colț, în  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $R_{ic}$ , rezistența la schimb superficial de căldură în zona colțului în  $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$ , egală cu  $0,200 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$ , la colțuri verticale, între pereți, fig.82.a. și  $0,250 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$  la muchii orizontale, fig.82.b., reprezentînd intersecții între pereți și terase.

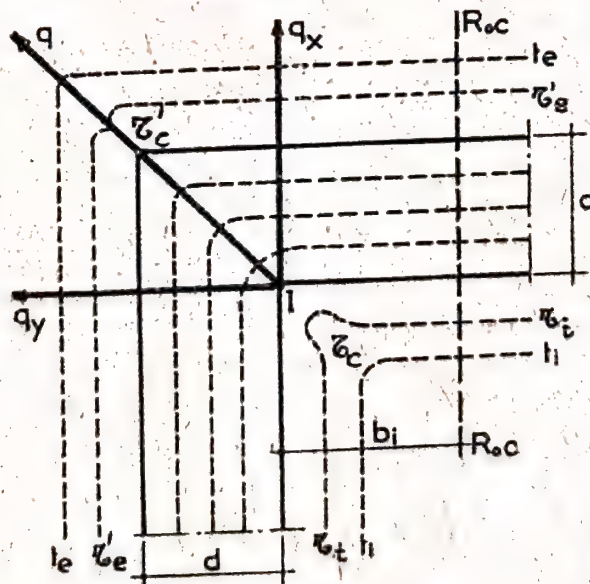


Fig.81. Transmisia plană a căldurii la colțul pereților omogeni.

$- R_{oc}$ , rezistența termică în cîmpul peretelui în  $m^2$ .  
 $h, ^\circ C$ .

Condiția pentru evitarea condensului se poate pune sub forma (fig.83 ):

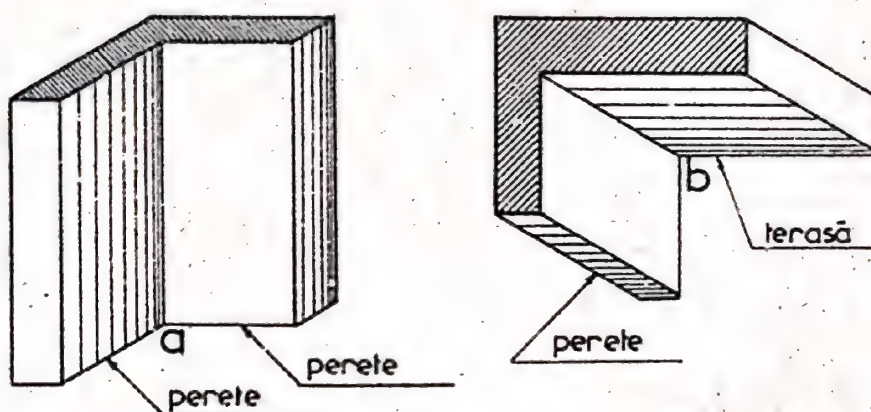


Fig.82. Transmisia căldurii la colțuri verticale (a) și la muchii orizontale (b).

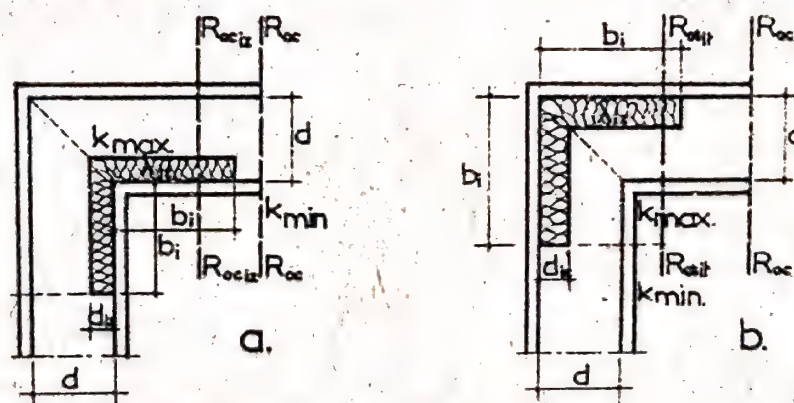


Fig.83. Dispoziția izolației suplimentare la colțuri:  
 a) la umidități normale  
 b) la umidități mari



$$\Delta \bar{\theta}_c \leq 1,42 \frac{R_{ic}}{R_{ociz}} \Delta t \quad (225)$$

în care  $R_{ociz}$  este rezistența termică necesară considerând izolația termică suplimentară în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ .

Căderea de temperatură în zona colțului, fără izolație termică este dată de relația:

$$\Delta \bar{\theta}_e = 1,42 \frac{R_i}{R_{oc}} \Delta t \quad (226)$$

Împărțind relațiile (225) și (226) se obține:

$$\frac{\Delta \bar{\theta}_i}{\Delta \bar{\theta}_e} = \frac{R_{ociz}}{R_{oc}} = \frac{R_{oc} + R_{iz}}{R_{oc}} \quad (227)$$

Din expresia (227) se obține valoarea lui  $R_{iz}$ :

$$R_{iz} = R_{oc} \left[ \frac{\Delta \bar{\theta}_i}{\Delta \bar{\theta}_e} - 1 \right] = R_{oc} \left[ \frac{\Delta \bar{\theta}_i - \Delta \bar{\theta}_c}{\Delta \bar{\theta}_c} \right] \quad (228)$$

Valoarea grosimii necesare a izolației termice, pe e.l. de colț rezultă:

$$d_{iz} = \lambda_{iz} \cdot R_{oc} \cdot \frac{\Delta \bar{\theta}_i - \Delta \bar{\theta}_c}{\Delta \bar{\theta}_c} \quad (229)$$

Pe lățimea de influență  $b_i$  a punții de colț rezultă:

$$d_{iz} = b_i \cdot \lambda_{iz} \cdot R_{oc} \cdot \frac{\Delta \bar{\theta}_i - \Delta \bar{\theta}_c}{\Delta \bar{\theta}_c} \quad (230)$$

Pentru un perete foarte bun este necesar ca  $K \leq 0,8 Kcal / m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$  și  $\xi_m \leq 2$ .

Determinările privind transmitia termică la colțuri prin analogie electrică (10), arată că la pereți omogeni are loc o creștere a coeficientului de transmitie termică cu 20%, iar la pereți neomogeni de pînă la 40%. Pentru evitarea condensului și asigurarea confortului la colțuri, folosindu-se metoda cîmpurilor

se propune o izolare suplimentară, ce se poate calcula considerând ecuația:

$$R_{iz} + R_{med} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \vartheta_{i\max}} \cdot \frac{1}{\alpha_{ic}} \quad (231)$$

de unde:

$$d_{iz} = \lambda_{iz} \left[ \frac{1}{K_{med}} + \frac{t_i - t_e}{t_i - \vartheta_{i\max}} \cdot \frac{1}{\alpha_{icollt}} \right] \quad (232)$$

în care:

- $d_{iz}$ , grosimea izolației suplimentare, în m ;
- $\lambda_{iz}$ , coeficientul de conductivitate termică al materialului de izolație, în Kcal/m.h.°C ;
- $t_i$ ,  $t_e$ , temperaturile aerului interior și exterior, în °C ;
- $K_{med}$ , coeficientul mediu de transmisie termică determinat prin metoda cîmpurilor prin diferențe finite sau analogie electrică în Kcal/m².h.°C ;
- $\vartheta_{i\max}$ , temperatura maximă a suprafeței interioare a colțului, în °C ;
- $\alpha_{icollt}$ , coeficientul de schimb superficial interior, cu valoarea medie 5 Kcal/m².h.°C ;

Izolarea suplimentară se dispune la interior sau exterior, în funcție de condițiile de umiditate (fig.83).

La pereți omogeni, izolația termică suplimentară la colțuri se poate calcula cu ajutorul nomogramei din fig.84. Pentru colțul peretelui de 37,5 cm grosime, cîmpul termic corespunzător zonei a II-a climatice este prezentat în fig.85.

#### 1.5. Caracteristicile pereților cu punți termice.

La structurile de pereți cu punți, cercetările efectuate de J.Berthier în Franța ca și cercetările din țara noastră arată că influența punții termice descrește cu raportul  $\frac{a}{d}$



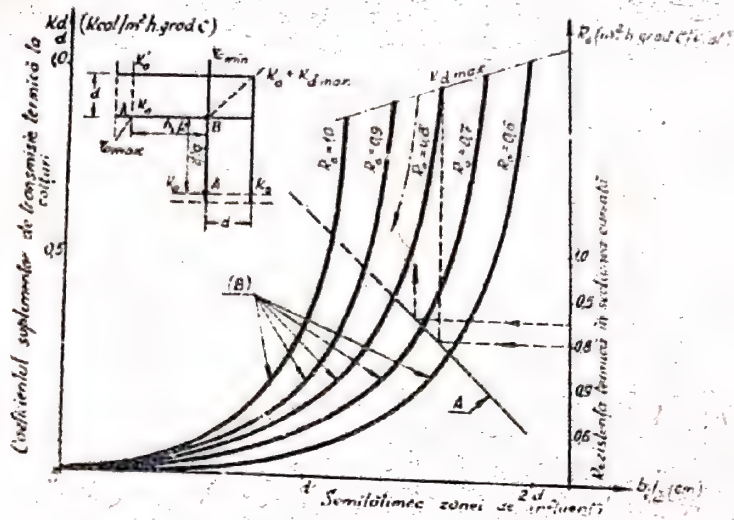


Fig.84. Rezistență termică suplimentară la colțuri de pereți omogeni

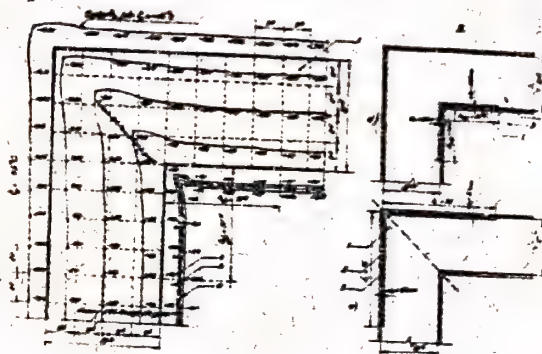


Fig.85. Cîmpul termic în zona de colț a peretelui de 37,5 cm grosime

(fig.86), în care "a" lățimea punții termice și "d" grosimea peretelui. Reducerea grosimii punții termice pînă la 3 cm, tehnologică necesară, determină îmbunătățirea comportării termice a peretelui, în special dacă grosimea punții scade sub 30% din grosimea peretelui. Înlocuirea materialului termoizolator cu un material de eficiență mai mare are o influență redusă, așa după cum

puntea termică își micșorează influența dacă materialul din care se realizează are caracteristici termofizice apropiate ale materialului de bază a pereților.

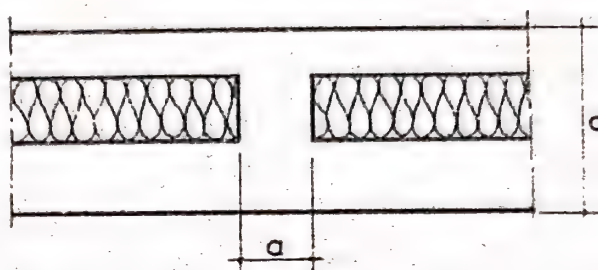


Fig. 86. Caracteristica geometrică a punții termice, raportul  $\frac{a}{d}$

Efectul de punte termică este mai redus la structura de perete cu stratul de masă mare la interior (fig. 87)-a, în comparație cu structura și stratul de masă mare la exterior (fig. 87-b).

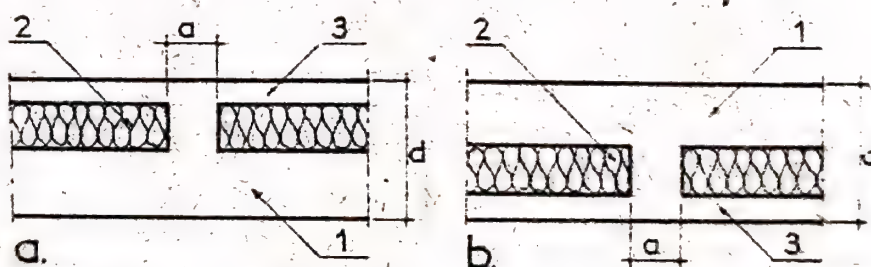


Fig. 87. Poziția stratului termoizolant în funcție de efectul punții termice: a - soluție judicioasă; b - soluție cu eficiență termică redusă; 1 - strat de masă mare; 2 - strat termoizolant; 3 - strat de protecție.

Stratul de masă mare dispus la interior are rolul de egalizator al temperaturii și de acumulare a căldurii, determi-



nind o comportare termică mai bună prin distribuția mai echilibrată a fluxului termic.

La punți parțiale, comportarea termică este bună în cazul când elementele bune conductoare de căldură sînt la exterior (fig.88)-a), mai puțin eficiente la interior (fig.88-b) și cu eficiență termică redusă dacă materialele bune conductoare de căldură sînt în masa elementului termicizator (fig.88)-c).

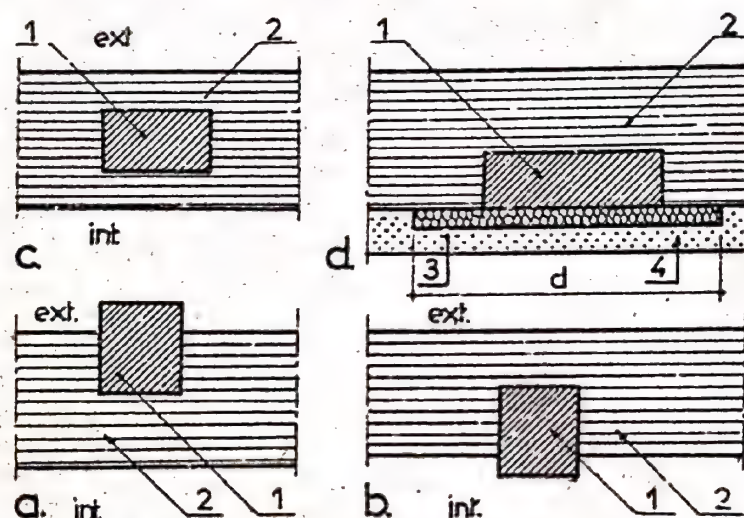


Fig.88.Punte termică parțială: 1- beton armat; 2- zidărie. a) soluție nejudicioasă; b) soluție bună; c) soluție cu eficiență termică redusă; d) micșorarea efectului negativ al punților parțiale: 1- strat de beton armat; 2 - zidărie; 3 - termoizolație interioară; 4 - tencuială.

Micșorarea efectului negativ al punții termice parțiale se poate obține printr-un strat de izolație termică interioară, a cărui acțiune crește cu lungimea (fig.88-d). La ranji- cații de pereți, comportarea optimă, din punct de vedere termic, o prezintă structura cu perete țesind și ca dală de repartiție (fig.89-c) în comparație cu celelalte structuri cu punte totală și parțială.

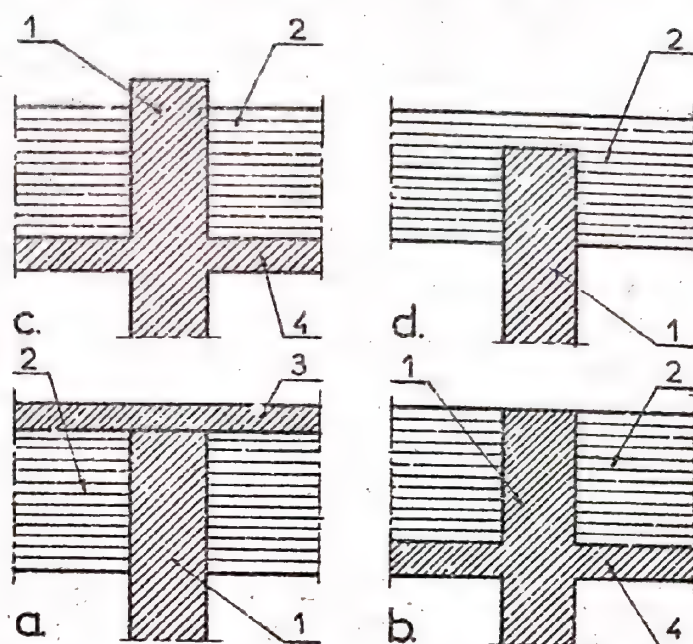


Fig.89. Ramificații de pereți cu punți: a) puntea totală; b) punte cu dală interioară de repartiție; c) punte cu dală de repartiție și perete transversal ieșind; d) punte termică parțială. 1- perete de beton; 2- zidărie; 3 - dală exterioră; 4- dală interioară.

#### 1.6. Temperatura și rezistența termică minimă a pereților cu punți.

Stabilirea temperaturii minime și a rezistenței termice a pereților cu punți a făcut obiectul a numeroase cercetări în Franța, U.R.S.S., R.S. România.

În vederea aprecierii caracteristicilor de temperatură ale structurilor de pereți cu punți, referitor la suprafața interioară a elementelor de construcție, fig.90, se introduce factorul de temperatură a suprafeței interioare, definit de raportul:

$$\alpha = \frac{t_{i \min} - t_i}{t_i - t_e} \quad (233)$$



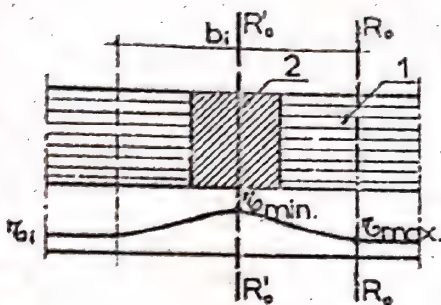


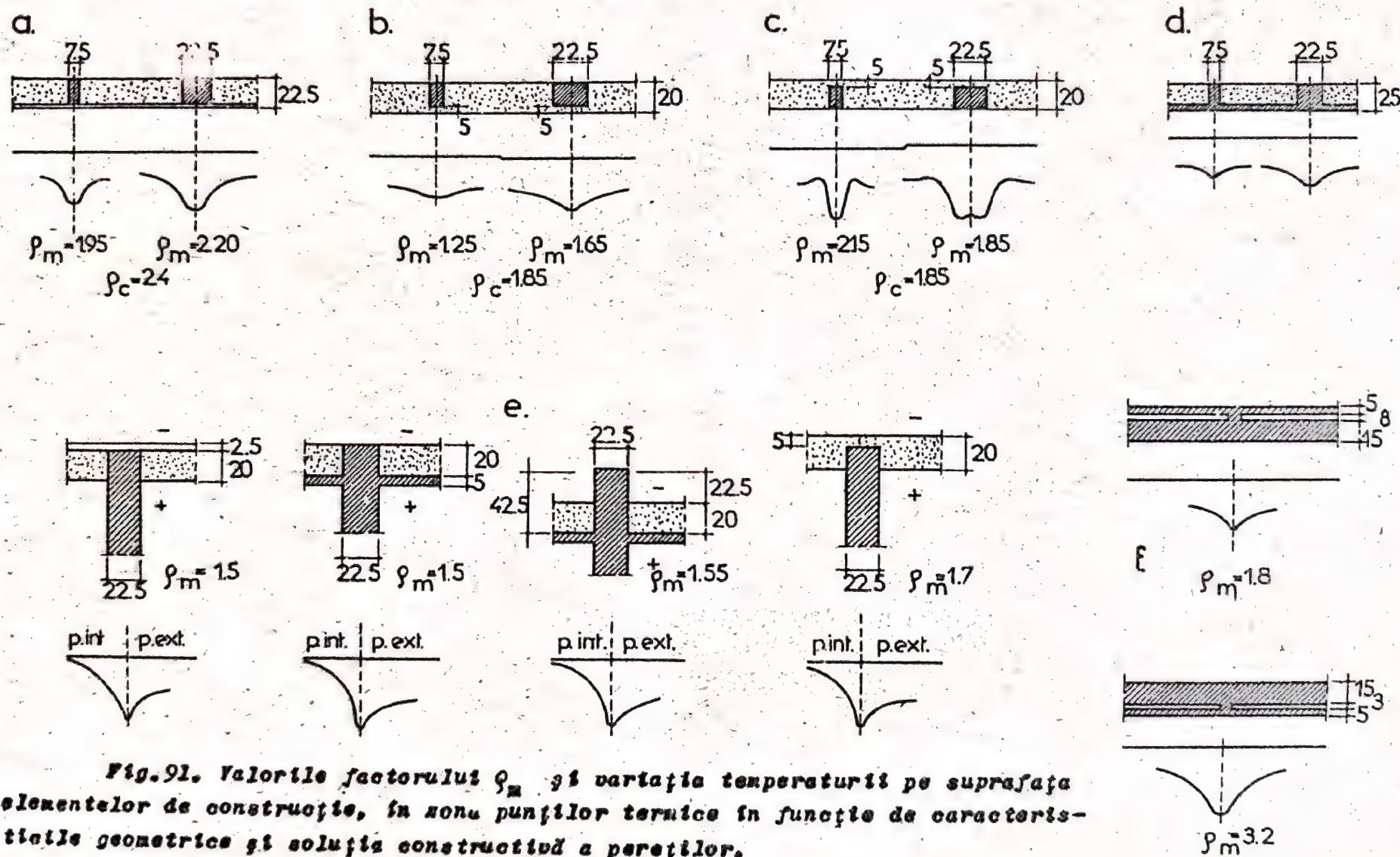
Fig. 90. Rezistența termică minimă în zona punților.

La diferențe mici între  $t_{min}$  și  $t_i$ , suprafața peretelui prezintă omogenitate termică maximă. Omogenitatea temperaturii suprafeței interioare a peretelui exterior poate fi analizată luând în considerare expresia:

$$\varphi_m = \frac{t_{i\max} - t_i}{t_{i\min} - t_i} = \frac{R_o}{R_{o\min}} \quad (234)$$

$\varphi_m$ , denumit factor de heterogenitate al temperaturii suprafeței interioare prezintă valoarea minimă 1, în cazul unei omogenități maxime și valori mai mari ca 1 pentru heterogenitate oarecare. Analizând diferite tipuri de punți termice, fig. 91 (1), se constată că valoarea factorului  $\varphi_m$  scade cu lățimea „a” a punții termice. La structuri cu zone de mare permeabilitate termică la exterior, cu comportare corespunzătoare termică, factorul  $\varphi_m$  prezintă valori maxime pentru lățimi mari ale stîlpilor exteriori.

La elemente cu zone de mare permeabilitate termică la interior se constată valori mari ale factorului  $\varphi_m$  ce evidențiază heterogeneitatea termică mărită a structurii de perete. Structura de perete în 2 straturi, cu placă de repartiție din beton la interior, prezintă omogenitate termică mărită și deci valori minime ale factorului  $\varphi_m$ . La punți parțiale valorile factorului  $\varphi_m$  cresc cu adîncimea punții în structura peretelui, valorile maxime corespunzînd punții totale. Factorul  $\varphi_m$  pentru structura de panou în 3 straturi, cu placă groasă la interior, utilizată în R.S. România, prezintă valoarea 1,8 mai favorabilă față de valoarea 3,2 în cazul cînd structura panoului de perete exterior este cu placa groasă la exterior.





Pentru o comportare corespunzătoare a structurilor de pereți cu punți termice se recomandă  $Q_m < 2$  în zona I-a și  $Q_m < 1,5$  în zonele II-a și III-a.

Diferența maximă de temperatură între interior și temperatura minimă  $t_{imin}$ , în zona punții termice, se poate calcula cu relația:

$$t_i - t_{imin} = \Delta t_{imax} = \frac{R_i}{R_o} Q_m \Delta t \leq \Delta t_{r adm} \quad (235)$$

în care:

$\Delta t_{r adm}$ , diferența de temperatură, între aerul interior și suprafața interioară a elementului exterior de construcție, admisibilă din punct de vedere al evitării condensului, în  $^{\circ}C$ .

În STAS - 6472/68 și normativul CAER privind termotehnica în construcții, pentru calculul rezistenței minime și a temperaturii minime în zona punților termice, fig.90, se recomandă relațiile:

$$R_{omin} = \frac{R_o \cdot R'_o}{R'_o + \eta_p (R_o - R'_o)} \quad (236)$$

$$t_{imin} = t_i - (t_i - t_e) \cdot R_i \cdot \frac{R_o + \eta_p (R_o - R'_o)}{R_o - R'_o} \geq t_r \quad (237)$$

în care:

-  $R_o$ , Rezistența la transmisia căldurii în secțiunea neinfluențată de puntea termică, în  $m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C/Kcal$ ;

-  $R'_o$ , rezistența la transmisia căldurii în zona punții, în  $m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C/Kcal$ ;

-  $\eta_p$ , coeficient de corecție în funcție de tipul punții, (fig.92) și raportul  $\frac{a}{d}$ , conform graficelor din fig.93.

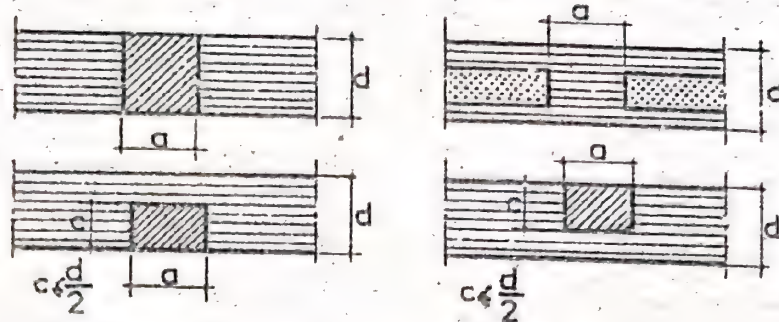


Fig. 92. Tipuri de punți la pereți.

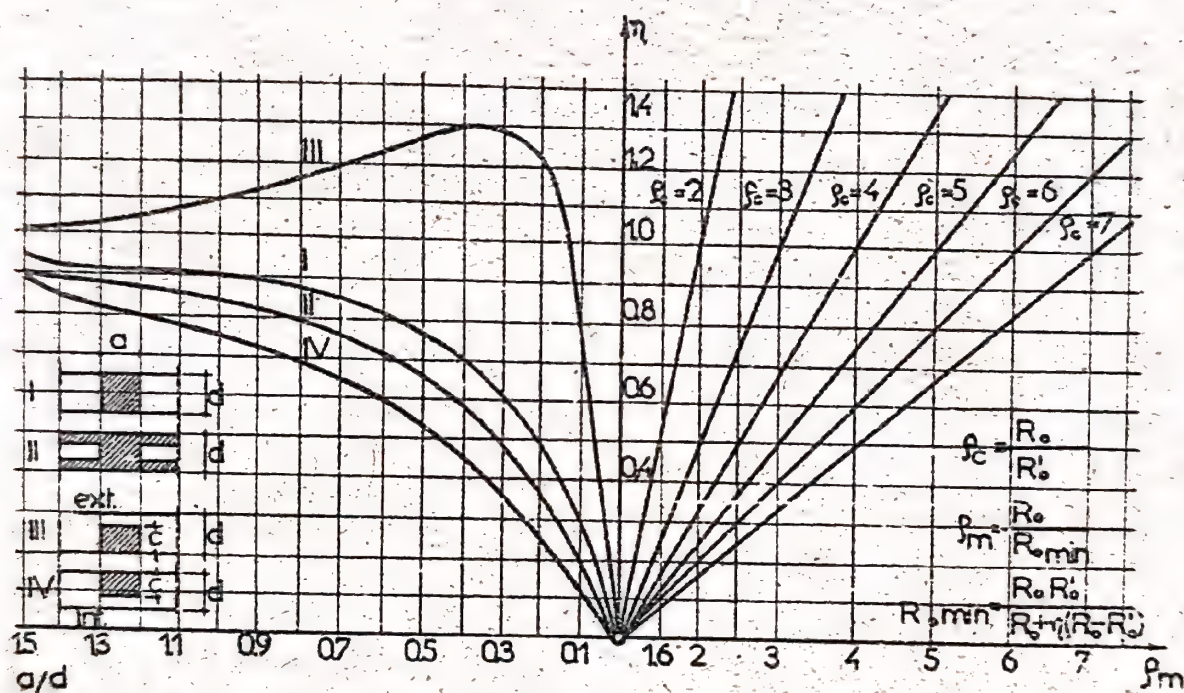
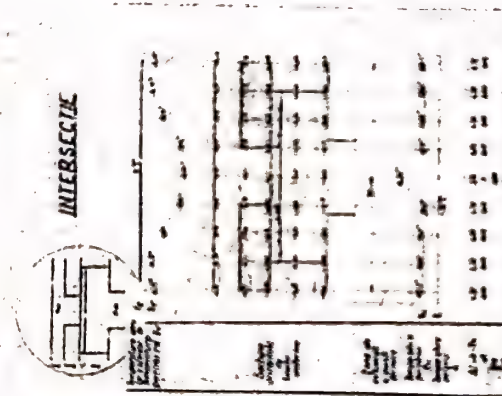
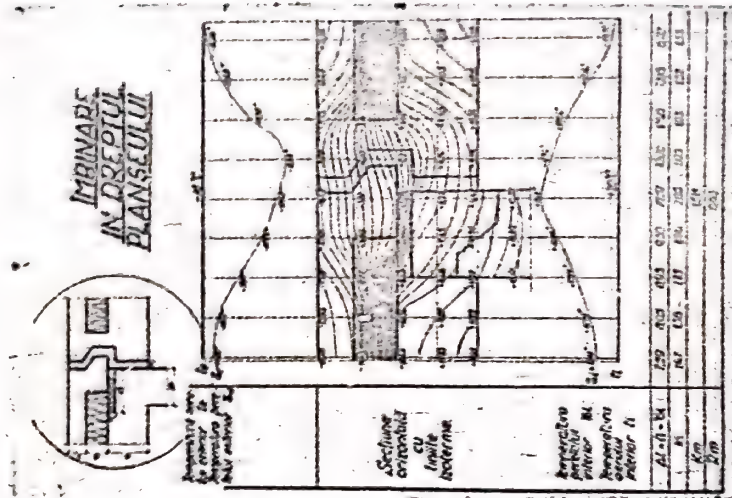


Fig. 93. Valorile coeficientului  $\eta_p$  în funcție de tipul punții și raportul  $\frac{a}{d}$

-  $t_p$ , temperatura de rouă conform condițiilor de microclimat interior, în  $^{\circ}\text{C}$ .

Folosindu-se calculul cu diferențe finite sau analogia electrică se determină cîmpul termic în zona punților (fig. 94), la ferestre, ramificații (fig. 95), planșee (fig. 96), stabilindu-se





temperatura minimă, lăţimea de influenţă  $nb_i$  a punţilor (10) şi pe această bază rezistenţa minimă a pereţilor cu punţi (fig.97).

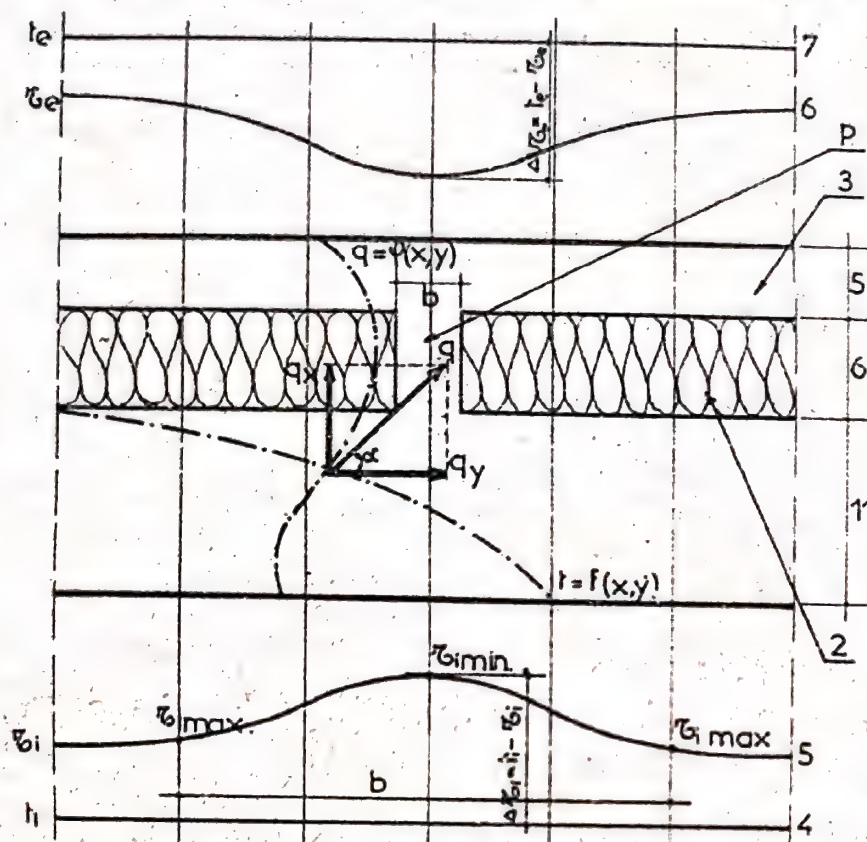


Fig.97.

Calculul rezistenței minime în zona punții termice: 1- strat interior de beton armat; 2- izolație termică; 3- strat exterior de beton armat; 4, 5, 6, 7- temperatura aerului interior, suprafețelor interioară și exterioară și a aerului exterior.

$$R_{0min(i-1)} = \frac{1}{K_{max(t-1)}} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \bar{\theta}_{i min(t-1)}} \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad (238)$$

În baza studiilor efectuate în laboratorul de clădiri al Institutului Politehnic Iași, s-a propus o variație liniară a coeficientului de transmisie termică în zona punții, de la  $\bar{\theta}_{i max}$  la  $\bar{\theta}_{i min}$ . Considerându-se temperatura medie:

$$\bar{\theta}_{imed} = \frac{\bar{\theta}_{i max} + \bar{\theta}_{i min}}{2} \quad (239)$$

se poate determina coeficientul de transmisie termică pe baza expresiei:

$$\frac{1}{R_{omed}} = R_{omed} = \frac{(t_i - \bar{\theta}_{imed}) \cdot \alpha_i}{t_i - t_e} \quad (240)$$

### 1.7. Creșterea temperaturii în încăperi datorită radiației solare.

Considerind că temperatura exterioară  $t_e$  este zero, ecuația de bilanț termic între încăpere și exterior este:



$$\sum A_f \cdot S \cdot R + \sum A_p \frac{\alpha R}{\alpha_e} R = K_v \cdot V \cdot t_i + \sum_1^n S_i \cdot \varphi_i \quad (241)$$

Considerind cã raportul de cãldurã transmis prin pereți este unic și luind în considerare numai influența ferestrelor, relația (241) devine:

$$\sum A_f \cdot S \cdot R = K_v \cdot V \cdot t_i + \sum_1^n S_i \cdot \varphi_i \quad (242)$$

Radiația solară, fenomen ondulatoriu poate fi descompus într-un termen constant, egal cu media statistică a radiației solare  $R_{med}$  și a unei serii de termeni sinusoidali, de amplitudine  $A_R$  și de perioade descrescătoare: 24, 12, 6 ore.

În cazul fenomenului termic datorat termenului de radiație constantă, considerind  $t_0 = 0$  și temperaturile pereților interiori constante, ecuația se scrie astfel:

$$A_f \cdot S \cdot R_{med} = K_v \cdot V \cdot A_{t_i} \quad (243)$$

de unde:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S \cdot R_{med}}{K_v \cdot V} \quad (244)$$

Considerind fenomenele datorate termenilor sinusoidali, pentru fiecare din fenomenele periodice rezultă:

$$A_f \cdot S \cdot A_R = K_v \cdot V \cdot A_{t_i} + \sum_1^n S_i \cdot \omega_i \cdot A_{t_i} \quad (245)$$

Din această ecuație rezultă:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S \cdot A_R}{K_v \cdot V} \left[ \frac{1}{\frac{\sum_1^n S_i \cdot \omega_i}{K_v \cdot V}} \right] \quad (246)$$

Considerând fenomenul global, rezultă amplitudinea  $A_{t_i}$  a temperaturii aerului interior în funcție și de capacitatea de amortizare interioară:

$$A_{t_i} = \frac{A_f \cdot S}{K_v \cdot V} \left[ R_{med} + \sum \frac{A_R}{\frac{\sum S_i \omega_i}{K_v \cdot V}} \right] \quad (247)$$

### 1.8. Stabilitatea termică a încăperilor în condiții de iarnă.

Comportarea termică în regim variabil poate fi analizată în condiții de iarnă și de vară. În condiții de iarnă comportarea termică, în regim variabil (23) a unei încăperi poate fi apreciată prin calculul amplitudinii oscilației temperaturii aerului interior,  $A_{t_i}$ , pe baza relației:

$$A_{t_i} = \frac{0.7 MQ}{B \cdot A} \quad (248)$$

în care:

- $M$ , coeficientul de neuniformitate al cedării căldurii de către instalația de încălzire, avînd valori între 0,4 și 2,2, funcție de sistemul și regimul de încălzire;
- $Q$ , cantitate de căldură pierdută din încăpere în timp de o oră, în Kcal/h ;
- $A$ , suprafața elementului de construcție care delimitează încăperea, în  $m^2$  ;
- $B$ , coeficient de acumulare termică a suprafețelor interioare ale elementelor de construcție care delimitează încăperea, în Kcal/ $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$  și calculat cu expresia:

$$B = \frac{1}{R_i + \frac{1}{U_i}} \quad (249)$$



în care  $U_i$  este coeficientul de asimilare termică a suprafeței interioare a elementului de construcție, în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Pentru uși și ferestre valoarea coeficientului  $B$  se poate calcula cu relația:

$$B = \frac{K_f}{1,08} \quad (250)$$

$K_f$ , fiind coeficientul de transmisie a căldurii la uși și ferestre.

Termenul  $U_i$  din relația (249) prezintă valoarea  $U_i = S_1$  dacă  $D_1 > 1$  și  $U_i = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2}$ , dacă  $D_1 < 1$  și  $D_1 + D_2 \geq 1$

#### 1.9. Stabilitatea termică a elementelor exterioare de construcții în condiții de iarnă.

Verificarea stabilității termice a elementelor exterioare de construcție implică calculul coeficientului  $\psi$ , pe baza relației:

$$\psi = \frac{R_0}{R_1 + \frac{1}{U_i}} \quad (251)$$

în care intervin termeni cu semnificații cunoscute. Valorile admisibile pentru  $\psi$ , în condițiile de climat din țara noastră, sînt 3,7 pentru zona I-a, 4,0 pentru zona II-a și 4,8 pentru zona III-a.

#### 1.10. Stabilitatea termică a clădirilor în condiții de vară.

Sub influența radiației solare, amplitudinea temperaturii echivalente a aerului exterior, luînd în considerare și influența însoririi, se calculează cu expresia:

$$A_{t_{e \text{ echiv.}}} = \left( A_{t_e} + \alpha \frac{R_{\max} - R}{\alpha_e} \right) \cdot \varphi \quad (252)$$

în care:

$$A_{t_{e \text{ echiv.}}} = t_{e \max} - t_e ; \quad t_{e \text{ echiv.}} = t_e + \frac{\alpha R}{\alpha_e} \quad (253)$$

- $\alpha$ , coeficientul de absorbție a radiației solare de către materialele de construcție, cu valori între 0,35..0,88 ;
- $R_{\max}$ , intensitatea maximă a radiației solare în 24 ore, în  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$  ;
- $R$ , intensitatea medie a radiației solare în 24 ore ;
- $\alpha_e = 10 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  ;
- $\varphi$  factor de corecție în funcție de nesimultanetățile maximilor temperaturii aerului exterior și a radiației solare cu valori între 0,26... 1,0. În literatura germană, în funcție de orientarea suprafețelor exterioare, variația acestui coeficient este dată între 0,5 și 1,0.

Cunoscând valoarea  $A_{t_{e \text{ echiv.}}}$  se poate calcula încălzirea termică maximă asupra unui element de construcție supus radiației solare, cu ajutorul expresiei:

$$q_{s \max} = \frac{t_{e \text{ echiv.}} - t_i}{R_0} + \frac{A_{t_{e \text{ echiv.}}}}{\gamma} \cdot \alpha_i \quad (254)$$

în care  $\gamma$ , coeficientul de amortizare termică a elementului de construcție.

#### 1.11. Temperatura încăperilor în condiții de vară, cu considerarea amortizării datorită pereților interiori.

Ecuațiile de bilanț termic sînt liniare în temperatură și radiație solară, astfel încît temperatura într-o încăpere este suma:



- temperaturii curente, în absența radiației solare și a aportului elementelor interioare de construcție;
- suplimentului de temperatură datorită radiației solare;
- suplimentului de temperatură datorită aportului elementelor interioare de construcție.

În condiții de vară, neexistând altă sursă de energie, temperaturile medii, exterioare și interioare sînt egale. Amplitudinile de variație ale temperaturilor exterioare și interioare sînt diferite în funcție de inerția construcției.

Schimbările termice între exteriorul și interiorul unei încăperi au loc prin transmiterea pereților și ventilația aerului, pe baza expresiei:

$$K_V \cdot V \cdot (t_e - t_i) \quad (255)$$

Fluxul termic absorbit sau cedat de pereții interioari este egal cu suma produselor suprafeței fiecărui perete  $S_i$  prin fluxul unitar absorbit sau cedat de acesta  $\phi_i$ . Ecuația de echilibru este deci:

$$K_V \cdot V \cdot (t_e - t_i) = \sum_i^n S_i \cdot \phi_i \quad (256)$$

Diferența maximelor temperaturilor  $t_e$  și  $t_i$  este egală cu diferența amplitudinilor de variație a temperaturilor deoarece valorile lor medii sînt egale. Maximul fluxului este egal cu amplitudinea sa deoarece valoarea medie este nulă. Notînd prin  $A_{t_e}$ ,  $A_{t_i}$  și  $\phi_i$  amplitudinile de variație ale lui  $t_e$ ,  $t_i$  și  $\phi_i$ , ecuația de mai sus se scrie:

$$K_V \cdot V \cdot (A_{t_e} - A_{t_i}) = \sum_i^n S_i \cdot \phi_i \quad (257)$$

Amplitudinea de variație a fluxului absorbit sau cedat de

un element interior de construcție este proporțională cu amplitudinea de variație a temperaturii aerului interior și un coeficient de inerție al peretelui, notat cu  $\omega_i$ , ceea ce conduce la expresia:

$$K_v \cdot V \cdot (A_{t_e} - A_{t_i}) = \sum_i^n S_i \cdot \omega_i \cdot A_{t_i} \quad (258)$$

Din relația (258) rezultă:

$$A_{t_i} = \frac{A_{t_e}}{1 + \frac{\sum_i^n S_i \cdot \omega_i}{K_v \cdot V}} \quad (259)$$

Amplitudinea de variație a temperaturii aerului interior este deci inferioară amplitudinii temperaturii aerului exterior. Amortizarea este cu atât mai mare cu cît raportul  $\frac{\sum S_i \cdot \omega_i}{K_v \cdot V}$  este mai mare și deci  $S_i$  și  $\omega_i$  mai mari, iar coeficientul volumic  $K_v$  de transmisie a căldurii este mai mic. Valoarea coeficientului  $K_v$  depinde de intensitatea ventilației naturale a încăperii.

#### 1.12. Influența umidității asupra pereților.

La alcătuirea pereților în mai multe straturi se vor avea în vedere și condițiile referitoare la umiditatea interioară de exploatare, umiditatea climatică a aerului exterior și evitarea condensului și a acumulării de umiditate în structura peretelui.

##### Comportarea pereților la acțiunea umidității.

Peretele ca element de construcție are una din funcțiunile principale de a proteja locuința contra umidității. Pereții tradiționali din zidărie, relativ groși, fig. 98, sînt capabili de a absorbi și a reține o anumită cantitate de vapori de apă, astfel încît chiar în absența unei tencuieli exterioare, umiditatea rezultată din precipitațiile atmosferice nu traversează elementul de



construcție.

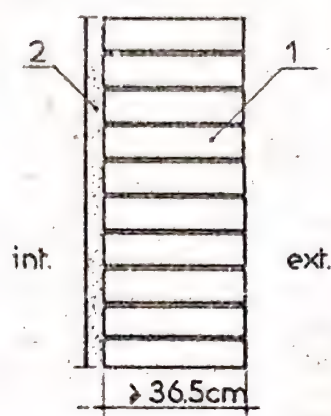


Fig. 98. Perete din zidărie aparentă cu cărămizi plane. 1-Perete; 2-tencuială interioară.

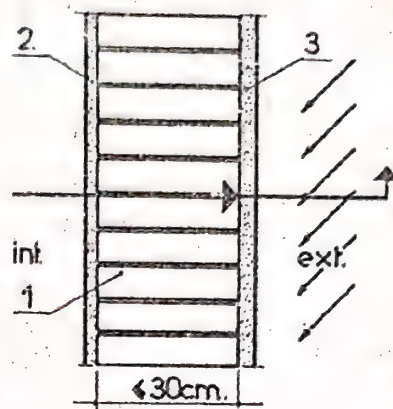


Fig. 99. Perete de grosimea unei cărămizi găurite cu tencuială exterioară impermeabilă. 1-Perete; 2-Tencuială interioară permeabilă; 3-Tencuială exterioară impermeabilă.

Dacă se reduce grosimea peretelui exterior pînă la valoarea minimă, admisibilă din punct de vedere termic și static, fig. 99, și luînd în considerare absorbția mai mare a cărămizilor poroase care se utilizează astăzi sîntem obligați a proteja perețele contra intemperțiilor cu ajutorul unei tencuielei exterioare impermeabile la apă, dar care nu trebuie totodată să împedice evacuarea vaporilor de apă ce se produc în interiorul clădirii.

Utilizarea cărămizilor extra-dure de parament, fig. 100 poate construi un material etanș opunîndu-se la orice difuzie a vaporilor de apă și putînd deci să influențeze funcția de respirație a zidăriei.

Pentru a remedia acest inconvenient ar trebui teoretic să se dispună pe partea caldă dinspre interior a peretelui, un

strat care să frâneze trecerea vaporilor.

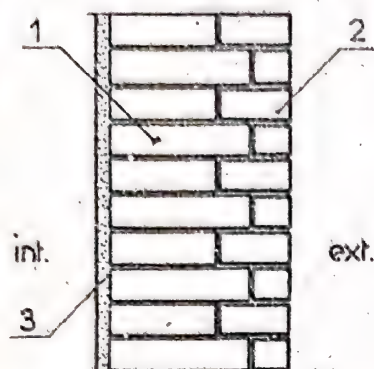


Fig. 100. Perete din zidărie cu cărămizi extradure la exterior.

- 1-Zidărie obișnuită;
- 2-Zidărie cu cărămizi extradure la exterior;
- 3-Tencuială interioară.

În cazul structurilor de pereți din beton monolit sau prefabricat, comportarea lor depinde de poziția stratului termoizolant. În cazul structurii cu termoizolație la interior, fig. 101, difuzia vaporilor de apă spre exterior este mai puțin bună deoarece betonul se opune în mai mare măsură la trecerea vaporilor de apă în comparație cu izolația termică, fiind posibilă acumularea lor în stratul s-s.

Structura de perete, cu izolație termică la exterior, fig. 102, este nu numai cea mai bună soluție din punct de vedere termic, dar prezintă în același măsură avantaje în ce privește difuzia vaporilor.

Din acest motiv se preconizează, în cazul pereților în mai multe straturi, cu izolație încorporată, de a plasa stratul izolant mai spre exteriorul peretelui.

La structuri de pereți cu materiale etanșe la vaporii de apă dispuse la exterior, cum sînt de exemplu sticla, fig. 103, metalul, fibrocimentul, evacuarea excesului de umiditate se realizează prin ventilarea canalelor verticale de aer ce comunică la partea inferioară și superioară cu mediul ambiant.

Structurile de pereți ușori, alcătuite dintr-un strat termoizolant trebuie a fi protejate contra apei de condensare. Soluția cea mai simplă constă în dispunerea pe partea caldă a perete-



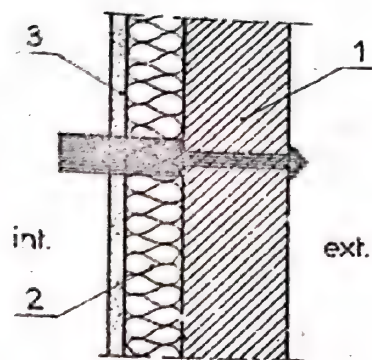


Fig. 101. Perete de beton cu termoizolație la interior. 1-Beton; 2-Izolație termică; 3-Tencuială interioară.

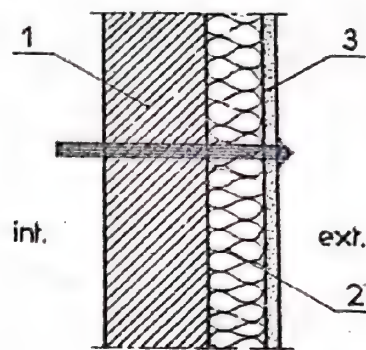


Fig. 102. Perete de beton cu termoizolație la exterior. 1-Beton; 2-Tencuială interioară; 3-Tencuială exterioară.

lui a unui ecran para-vapori, fig. 104.

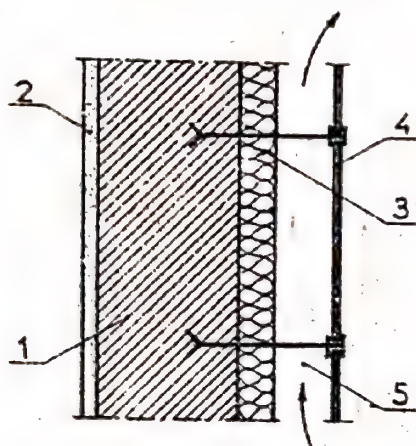


Fig. 103. Perete de sticlă suspendată cu ventilație exterioară. 1-Beton armat; 2-Tencuială interioară; 3-Tencuială exterioară; 4-Sticlă; 5-Strat de aer ventilat.

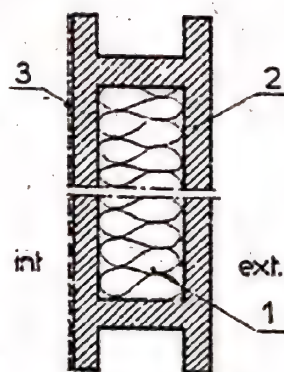


Fig. 104. Perete ușor protejat cu carcasă de beton armat și para-vapori la interior. 1-Strat termoizolant; 2-Carcasă portantă din beton armat; 3-Para-vapori.

Neluearea în considerare a principiilor de bază privind comportarea termică și la umiditate a pereților conduce la degradări, exfolieri, eflorescențe, zone de mare umiditate, fenomene de coroziune la structurile cu metal și la descompunerea structurilor de termoizolație, ceea ce se poate evita prin proiectarea judicioasă a elementelor de construcție, din punct de vedere higrotermic.

Umiditatea de echilibru a pereților exteriori în condiții de exploatare normală este cuprinsă între 0,5 % ... 4 % și maxim 6 % în cazul pereților din beton celular autoclavizat.

1.13. Structura optimă a pereților exteriori din punct de vedere al evitării acumulării vaporilor de apă.

La structurile de pereți în 3 straturi din panouri mari sau beton armat monolit sînt posibile în principiu 3 soluții constructive:

- a) structura cu termoizolație spre interior, fig. 105;
- b) structura cu termoizolație spre exterior, fig. 106;
- c) structura simetrică cu termoizolația la mijloc, fig. 107.

La structura cu termoizolația la interior, cantitatea unitară de vaporii de apă ce se poate acumula în condiții de iarnă  $P_i = 0,62 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ , este maximă în comparație cu debitul  $P_a = 0,27 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ , la structura cu termoizolația la exterior și  $P_a = 0,37 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ , la structura simetrică cu termoizolația centrală. Rezultă deci că structura de perete cu termoizolația la exterior este mai indicată și din punct de vedere al acumulării vaporilor de apă din condens în condiții de iarnă. În ce privește evacuarea apei condensată în structura peretelui comportarea variantei de perete cu termoizolație la exterior, este optimă, deoa-



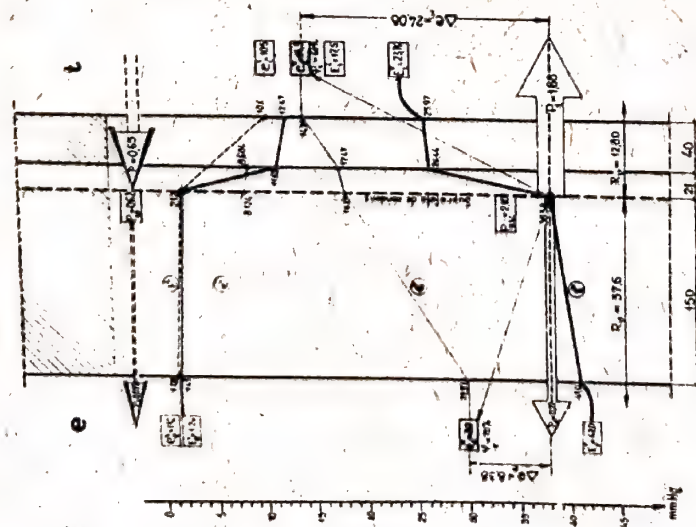


Fig. 105. Acumularea umidității la perete în 3 straturi cu izolația termică la interior.

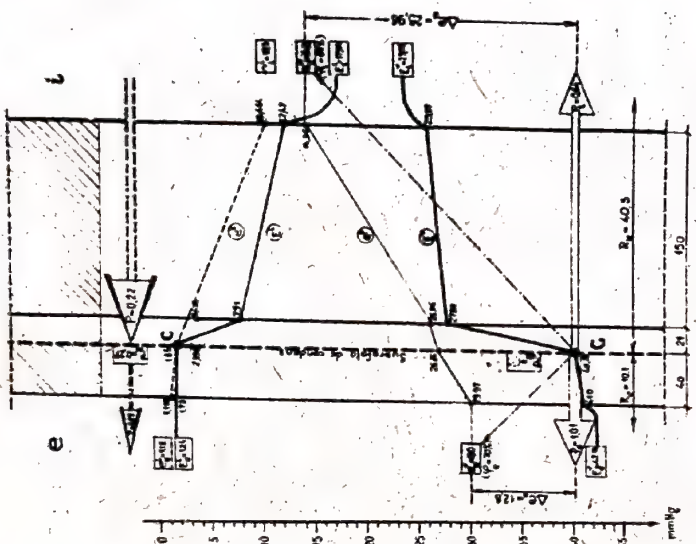


Fig. 106. Acumularea umidității la perete în 3 straturi cu izolația termică la exterior.

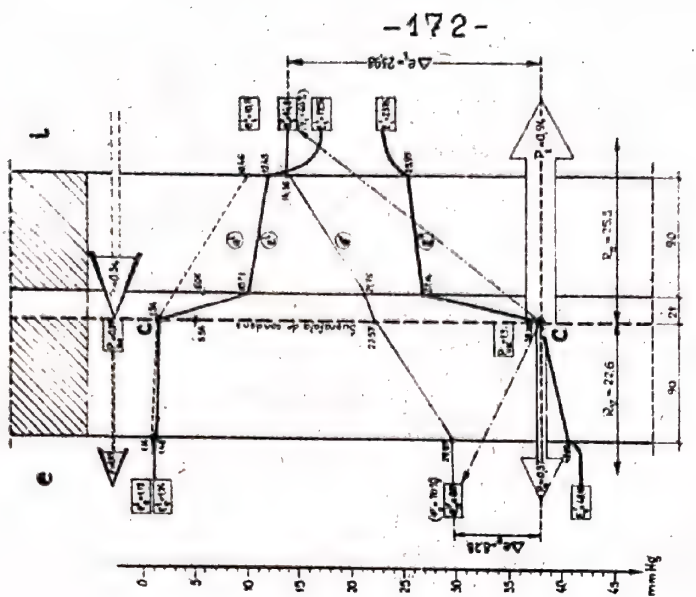


Fig. 107. Acumularea umidității la perete cu structură simetrică și termoisolație la mijloc.

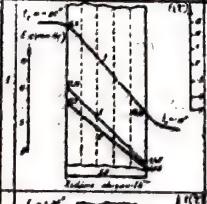
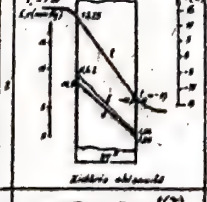
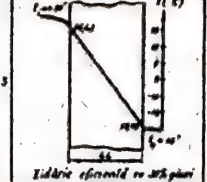
rece cantitatea de vapori ce se elimină prin exterior  $P_e = 1,01 > P_i = 0,64 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ , în comparație cu structura cu termoizolație la interior la care  $P_i = 1,88 > P_e = 0,22$  și structura simetrică la care  $P_i = 0,94 > P_e = 0,33$  și la care eliminarea condensului are loc în mare parte prin interior.

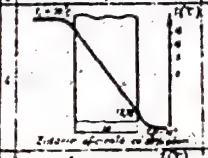

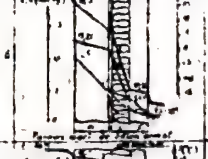
#### 1.14. Caracteristicile termice ale pereților în regim nestăționar.

Cercetări efectuate la clădiri în exploatare privind comportarea termică în regim nestăționar (10), au scos în evidență caracterul sinusoidal, periodic al oscilației termice a aerului exterior, interior și a suprafețelor interioare și exterioare a pereților, fenomen cu perioada de 24 ore, o lună sau un an.

În tab.7. se prezintă caracteristicile termice și de umiditate, valorile amortizării și defazajului oscilației termice a unor tipuri de bază de pereți.

Tabel 7  
CARACTERISTICILE HIGROTHERMICE  
ALE PRINCIPALELOR STRUCTURI DE PEREȚI

Tipul de perete	Greutate m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	$\lambda$ W/m·K	$\mu$ m <sup>2</sup> ·h/K	$R_0$ m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{si}$ m <sup>2</sup> ·K/W	Amortizarea termică $\gamma$	Defazaj $\phi$ (°)
 Zidărie obișnuită	0,50	0,7	0,04	0,715 0,075	32,7	77	45
 Zidărie obișnuită	0,375	0,7	0,04	0,535	26,8	34	118
 Zidărie obișnuită cu izolație	0,66	0,50	-	0,60 0,10 1,07	34	67,5	43

Tipul de perete	$\lambda$	$\mu$	$R_0$	$R_{si}$	$\gamma$	$\phi$
 Zidărie obișnuită	0,50	0,7	0,04	0,715 0,075	77	45
 Zidărie obișnuită	0,375	0,7	0,04	0,535	34	118
 Zidărie obișnuită cu izolație	0,66	0,50	-	0,60 0,10 1,07	34	67,5



Din datele prezentate, în condițiile regiunii II-a climatice, rezultă că, în general, tipurile de pereți studiați satisfac condițiile de exploatare pentru umiditate normală. Valorile amortizării și defazajului după Sklover, calculate ca raport între amplitudinile termice ale aerului exterior și suprafeței interioare a pereților exteriori și ca raport între amplitudinile oscilațiilor termice ale suprafețelor exterioare și interioare ale pereților exteriori, sînt comparate cu valorile determinate prin analogie electrică în cadrul cercetărilor de la Iași, luînd în considerare și capacitatea de acumulare termică a pereților interiori și a planșeelor. În raport cu valorile minime ale amortizării termice prescrise de Eichler ( $\eta = 10...15$ ), se consideră că pentru climatul nostru amortizarea termică minimă a pereților nu trebuie să coboare sub 20, pentru a se obține o comportare termică echivalentă zidului etalon din cărămidă plină de 37,5 cm grosime. Analizînd structurile de pereți utilizate în R.S. România în raport cu noul criteriu rezulta că în condițiile regimului de încălzire discontinuu, numai pereții de 50 cm și 37,5 cm grosime din cărămidă plină și peretele din zidărie de cărămidă eficientă de 44 cm, grosime satisfac această condiție. Pentru celelalte tipuri de pereți este necesară o creștere a capacității de izolare termică pentru a se obține o comportare optimă în special în condiții de vară.

Din punctul de vedere al defazajului oscilației termice, se consideră că valoarea minimă nu trebuie să coboare sub  $\eta = 10$  pentru a avea o comportare comparabilă cu peretele etalon din zidărie de cărămidă plină de 37,5 cm grosime. Se apreciază că principalele tipuri de pereți, în afară de panourile mari, satisfac acest criteriu avînd valorile defazajului între 7,8 și 10 față de valorile minime recomandate de Eichler și cuprinse între 6...10.

## 2. Dimensionarea higrotermică a acoperișului.

### 2.1. Rezistența termică necesară a acoperișului.

Adoptarea pe scară largă a acoperișurilor fără pod la clădiri social-culturale, locuințe și construcții industriale, face ca proiectarea judicioasă din punct de vedere termic a acestor elemente de construcție să fie o preocupare importantă care trebuie să stea în atenția inginerului constructor.

În general rezistența termică necesară pentru acoperiș este mai mare față de pereții exteriori pentru ca pierderile de căldură în timpul iernii să fie mici, condensările de vapori de apă să fie reduse, iar efectul radiației solare pe timp de vară să fie minim, asigurându-se un confort corespunzător și evitându-se solicitări defavorabile din variația de temperatură.

Rezistența termică necesară a acoperișului se poate calcula cu relația:

$$R_{onec} = \frac{(t_i - t_e) m}{\gamma \cdot \Delta \vartheta_i} \quad (241)$$

în care:

- $R_{onec}$ , rezistența termică necesară a acoperișului în  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$ ;
- $m$ , coeficient de masivitate;
- $t_i$ , temperatura de calcul a aerului interior conform anexei V, în  $^\circ C$ ;
- $t_e$ , temperatura de calcul a aerului exterior conform anexei VI, în  $^\circ C$ ;
- $\Delta \vartheta_i$ , căderea de temperatură între aerul interior și suprafața interioară a acoperișului, în  $^\circ C$  (anexa IX).

Dimensionarea termică a acoperișului implică verificarea inegalității:



$$R_{ef} \geq R_{nec} \quad (242)$$

În tabelul 8 sînt prezentate valorile  $R_{nec}$ , cuprinse între 1,20 și 0,78  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$  în funcție de valorile  $\Delta T_i = 4,5^\circ C$  și  $5,5^\circ C$  și regiunile climatice din R.S. România (anexa IX).

Tabelul 8

Valorile  $R_{nec} = R_{o/m}$  pentru clădiri de locuit, administrative și social - culturale

Destinația clădirii	Zona climatică		
	I $t_g = -12^\circ C$	II $t_g = -15^\circ C$	III $t_g = -18^\circ C$
- Incăperi de locuit, spitale, creșe, grădinițe de copii, etc. $t_i = 20^\circ C$ , $\Delta T_i = 4,5$	1,02	1,11	1,20
- Teatre, cinematografe, școli, cluburi, săli, clădiri social-sanitare anexe ale întreprinderilor industriale, etc. cu $t_i = 18^\circ C$ și $\Delta T_i = 5,5^\circ C$	0,78	0,86	0,94

Analiza comportării acoperișurilor în regim nestabil presupune calculul amortizării și defazajului oscilațiilor termice și verificarea inegalităților:

$$\gamma_{ef} \geq \gamma_{nec}; \eta_{ef} \geq \eta_{nec} \quad (243)$$

Valorile necesare ale amortizării termice și defazajului oscilațiilor termice sînt prezentate în anexele XI.

Aspecte particulare prezintă realizarea condiției de evitare a condensului la colțurile orizontale ale cornișei, datorită transmisiei plane a căldurii și a modului de izolare termică a terasei și a centurilor ultimului etaj, fig.108. În cazul cornișei neizolată termic, fig.109, efectul de punte termică se manifestă pe toată înălțimea centurii, în cazul când izolația termică a terasei este dispusă la partea inferioară a planșului.

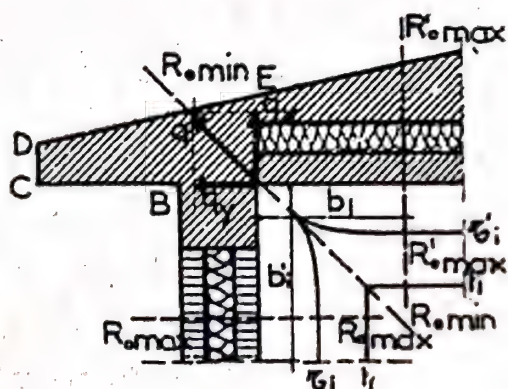


Fig.108. Efectul de punte termică a cornișei datorită transmisiei plane a căldurii.

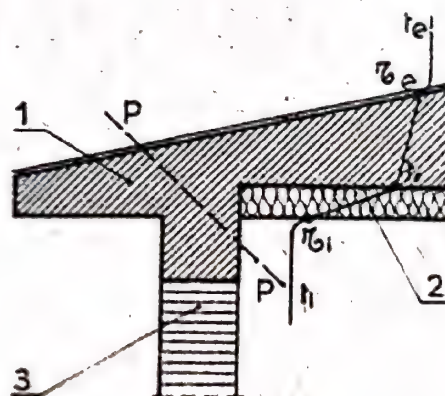


Fig.109. Cornișă neizolată termic la terasă cu izolația la partea inferioară. 1-Beton armat; 2-Izolație termică; 3-Zidărie - perete; p-p, punte termică.

Betonul armat din centură este supus la diferențe de temperaturi negative. O comportare mai bună se obține prin izolarea interioară a centurii, în zona cornișei în continuarea izolației orizontale a terasei, fig.110, soluție care este judicioasă la umidități ale aerului interior mai mici de 60%. Izolația termică exterioară a centurii, fig.111, în zona cornișei nu apare judicioasă deoarece se manifestă efectul de punte termică în secțiunea



înclinată  $p - p$  conturându-se o zonă rece susceptibilă de condensări ale vaporilor de apă. În cazul dispoziției izolației termice la partea superioară, extinsă și pe înălțimea butandrugului, fig. 112, se obține o comportare mai bună prin micșorarea zonei mai reci datorită efectului de punte termică. Extinderea izolației termice a centurii și pe porțiunea orizontală a cornișei, fig. 113, contribuie la îmbunătățirea comportării termice a părții exterioare a terasei. Comportarea optimă a cornișei din punct de vedere higrotermic se obține în cazul izolației termice totale la exterior, fig. 114, soluție constructivă putând fi adoptată și în umidități ale aerului interior mai mari de 60%. Protecția izolației termice, dispusă la exterior, se asigură prin tencuială exterioară din mortar de ciment pe suport de rășină.

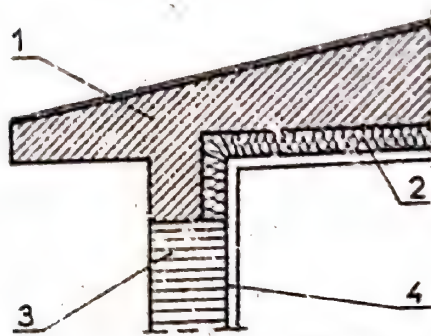


Fig. 110. Izolarea interioară a centurii în zona cornișei: 1-Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; 4- Tencuială interioară.

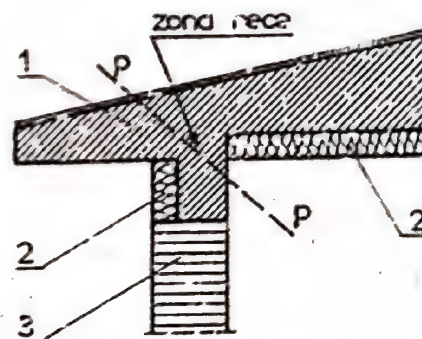


Fig. 111. Izolarea exterioară a centurii în zona cornișei: 1- Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete;  $p-p$ , punte termică.

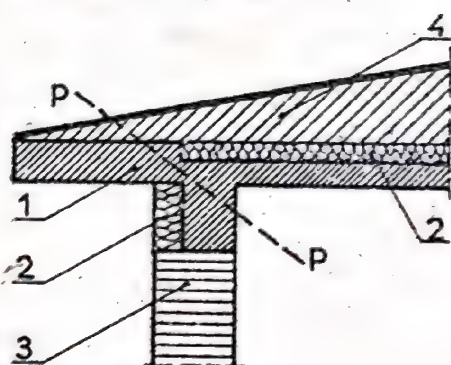


Fig. 112. Cornișă cu izolația termică a terasei la partea superioară și a buandărugului la exterior. 1-Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; 4- Beton pantă; p-p, punte termică.

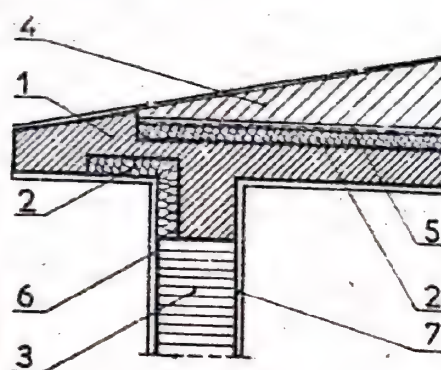


Fig. 113. Cornișă cu izolație orizontală exterioară și verticală a centurii; 1-Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; 4- Beton pantă; 5- Mortar de egalizare și rabiț; 6- Tencuială exterioară; 7- Tencuială interioară.

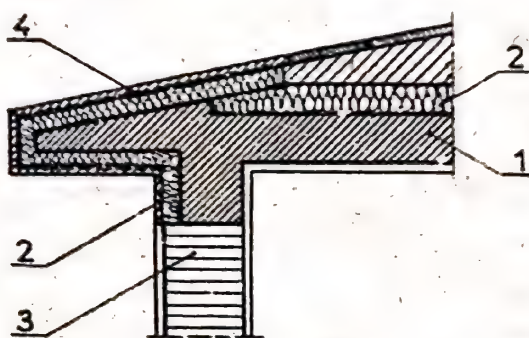


Fig. 114. Izolarea termică totală a cornișei la exterior. 1 - Beton armat; 2- Izolație termică; 3- Zidărie perete; 4- Mortar de protecție și rabiț.



## 2.2. Rezistența necesară a acoperișului la vapori de apă și aer.

Rezistența necesară la permeabilitate la vapori  $R_{vnec}$  a planșeelor de pod sau a planșeelor duble de terasă cu goluri ventilate sau a acoperișurilor din produse în bucăți (țigle, plăci, de azbociment sau foi), etc. trebuie să îndeplinească condiția:

$$R_{vej} \geq R_{vnec} = 1,2 (P_i - P_e) \quad (244)$$

în care:

-  $R_{vej}$ , rezistența efectivă la permeabilitate la vapori, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg/g}$ ;

-  $P_i$ , presiunea vaporilor de apă a aerului interior, în  $mm \text{ Hg}$ , conform anexei IV.

-  $P_e$ , presiunea vaporilor de apă a aerului exterior, considerată ca medie pe perioada de iarnă corespunzătoare unei temperaturi de  $-10^\circ C$  și unei umidități de 85%, în  $mm \text{ Hg}$ .

Rezistența necesară la permeabilitate la aer  $R_{anec}$  a acoperișurilor terasă ale clădirilor de locuit și social-culturale trebuie să îndeplinească condiția:

$$R_{anec} = 0,1 \cdot v^2 \cdot R_{onec} \quad (245)$$

în care:

-  $R_{anec}$ , rezistența necesară a acoperișului la permeabilitate la aer, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ H}_2\text{O/Kg}$ ;

-  $v$ , viteza de calcul a vântului, considerată ca valoare medie pe perioada de iarnă (ianuarie, februarie, martie), având valoarea minimă de 5 m/s, la care se aplică sporurile următoare:

15 % pentru clădiri cu înălțimea de la 25 m la 50 m ;

40 % pentru clădiri cu înălțimea peste 50 m.

### 2.3. Calculul umidității acumulate de acoperiș.

Determinarea umidității are loc pentru durata medie la care începe să apară condensul, iar temperatura exterioară de calcul se adoptă ca temperatură medie pe acest interval de timp.

Cantitatea de vapori de apă condensată în elementul de construcție în perioada de iarnă se calculează cu relația:

$$P_a = p \cdot T_a \quad (g/m^2) \quad (246)$$

în care  $p$  are expresia:

$$p = \frac{p_i - p_{II}}{\sum_I \frac{d}{\delta}} - \frac{p_{II} - p_e}{\sum_I \frac{d}{\delta}} \quad (g/m^2h) \quad (247)$$

iar:

-  $P_i, P_e$  sînt presiunile vaporilor de apă din aerul interior și exterior în mm col Hg, corespunzător temperaturii  $t_i$  și umidității relative interioare  $\varphi_i$  și respectiv temperaturii  $t_e$  și umidității relative exterioare  $\varphi_e$ ,

-  $P_I, P_{II}$ , presiunile vaporilor de apă în mm col Hg, corespunzătoare suprafețelor care limitează începutul și sfîrșitul zonei de condens,

-  $\sum_I \frac{d}{\delta}; \sum_{II} \frac{d}{\delta}$ , suma rezistențelor de permeabilitate la vapori în  $m^2 \cdot h \cdot mm Hg/g$ , care delimitează straturile elementului de construcție situate respectiv de la suprafața interioară a elementului la suprafața de început a zonei de condens și de la suprafața de sfîrșit a zonei de condens la suprafața exterioară a elementului.

-  $T_a$ , durata de apariție a condensului în h, determinată de iarnă medie convențională pentru zonă climatică a țării noastre în care este amplasată clădirea, corespunzător temperaturii aerului exterior de la care apare condensul interior al vapo-



rilor de apă, conform graficului din fig.115, care indică numărul de grade - ore în funcție de temperatura aerului exterior în perioada de iarnă.

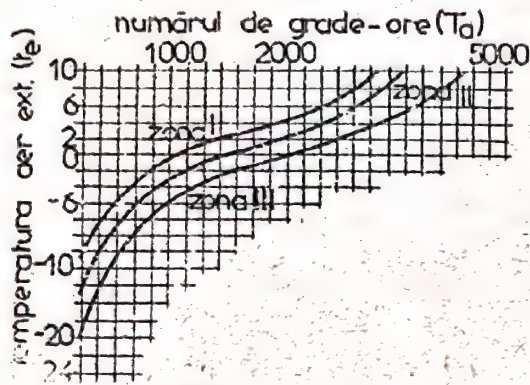


Fig.115. Graficul numărului de grade - ore în funcție de temperatura aerului exterior în perioada de iarnă.

se acumulează umiditatea, în m;

-  $\varphi$ , densitatea aparentă a materialului termoizolator, în  $\text{kg/m}^3$ .

Cu ajutorul cantității de vapor de apă acumulată  $P_a$  în elementul de construcție se determină creșterea umidității  $\Delta W$  în termoizolație în perioada iarnă, care trebuie să fie:

$$\Delta W = \frac{P_a}{100.d.p} \leq \Delta W_{ad. \%} \quad (248)$$

(raportat la greutate)

(tabelul 9)

în care:

-  $d$ , grosimea stratului termoizolator în care

Tabel 9

Valorile $\Delta W_{adm} \%$	
Denumirea materialului	$W_{adm} \%$
- zidărie din cărămiși de argilă	1,3
- zidărie din cărămiși eficiente din blocuri ceramice cu goluri, din cărămiși silico-calcare	2
- perșiți din panouri mari cu beton de granulat, beton celular	4

Continuare tabelul 9

- pereți din panouri mari cu beton celular	5
- produse din vată minerală	3
- spumă de polistiren	15

#### 2.4. Structura optimă a terasei din punct de vedere al evitării acumulărilor de vapori de apă.

Din punct de vedere al dispoziției stratului de termoizolație sînt în principiu posibile 3 structuri de terase:

a) terase cu stratul de termoizolație la partea inferioară fig.116;

b) terasă cu stratul de termoizolație la partea superioară fig.117 ;

c) terasă cu plase din beton ușor, portant, realizat dintr-un material care asigură atât condiția de portanță la încoviere cît și cerințele de izolare termică fig.118.

Terasa cu termoizolația la partea inferioară prezintă o zonă mare de condens cu debitul specific de vapori  $P_a = 1,847 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ . Terasa cu structură alcătuită din termoizolație dispusă la partea superioară prezintă o zonă minimă de condens, cu  $P_a = 0,28 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ , fiind cea mai judicioasă lînd în considerare că terasa omogenă, cu strat unic portant și termoizolant, prezintă debitul specific de condens  $P_a = 1,42 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ .

Toate cele trei structuri prezintă condiții de eliminare a vaporilor de apă în timpul verii cu debit maxim prin interiorul încăperilor.



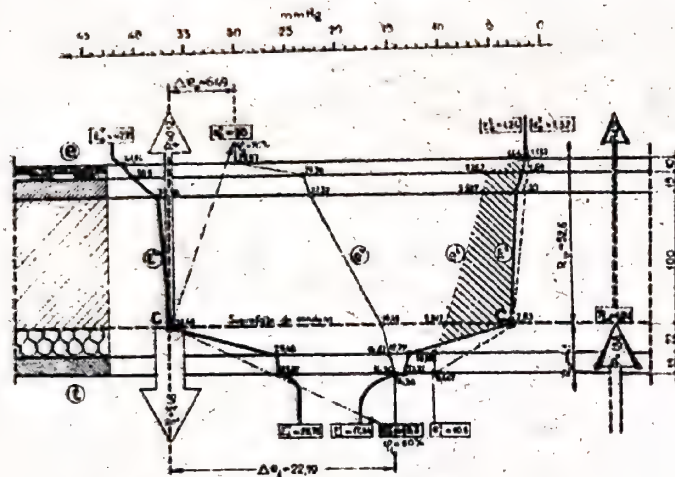


Fig.116. Acumularea și eliminarea vaporilor de apă din terasă cu stratul de termoizolație la partea inferioară.

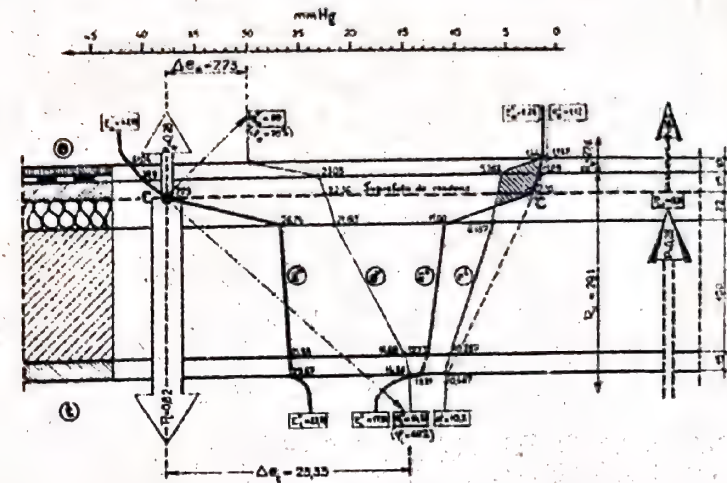


Fig.117. Acumularea și eliminarea vaporilor de apă din terase cu stratul de termoizolație la partea superioară.





rea optimă a vaporilor de apă, iar în cazul când capacitatea de absorbție a stratului de difuzie nu este suficientă, eliminarea condensului nu este asigurată.

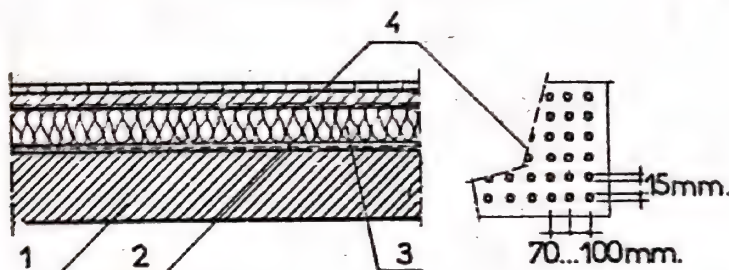


Fig. 119. Aerisirea naturală a planșului terasă cu strat de difuzie. 1 - Beton armat ; 2 - Barieră vapor ; 3 - Termoizolație ; 4 - Strat de difuzie ;

În cazul folosirii unor termoizolații din polimeri care prin structura lor reprezintă și bariere de vapor se poate asigura drenarea vaporilor prin canale determinate de forma ondulată la partea inferioară a materialelor de izolație, fig. 120.

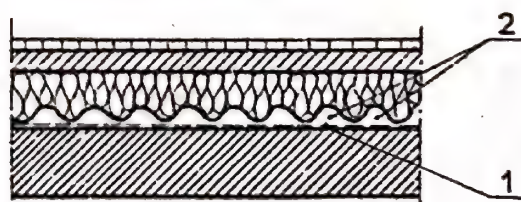


Fig. 120. Drenarea vaporilor de apă prin canale în contact cu aerul exterior. 1 - Barieră de vapor ; 2 - Canale de aer.

Aceste canale de aer trebuie să fie în contact cu exteriorul, la nivelul cornișei, pentru egalizarea presiunilor de vapor și drenarea umidității din acoperiș.

O drenare bună se poate obține cu strat de aer deasupra termoizolației, fig. 121, care în contact cu aerul exterior asigură circu-

lațta și drenarea vaporilor de apă.

La suprafețe mari de acoperișuri, pentru asigurarea drenării părții centrale fig.122 , se pot folosi țevi deflectoare din tablă galvanizată care asigură detenta orizontală a vaporilor și eliminarea acestora pe la partea superioară. Țevile se prevăd de înălțime corespunzătoare depășind suprafața învelitorii cu 30...60 cm. Diametrul și distanțele între țevi se aleg luând în considerare date practice referitor la eficiența acestui sistem.

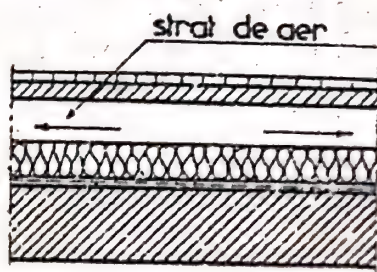


Fig.121. Drenarea terasei cu strat de aer deasupra termoizolației.

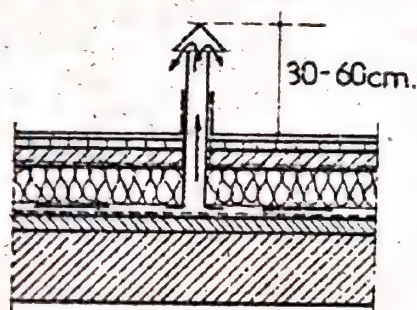


Fig.122. Drenarea vaporilor de apă din acoperiș cu țevi deflectoare.

## 2.6. Influența poziției izolației termice în pereți și terase asupra eforturilor din variația de temperatură.

Luând în considerare cele trei structuri posibile de realizare a pereților exteriori, pentru condițiile din zona II-a climatică ( $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ ), în cazul când izolația termică este dispusă la exterior fig.12 -a , pentru elementul de perete cu  $R_{\text{oef}} = 0,92 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$ , diferența totală de temperatură în stratul portant este de  $19,08^{\circ}\text{C}$  față de  $81,85^{\circ}\text{C}$  pentru cazul când termoizolația este interioară și  $80,21^{\circ}\text{C}$  pentru structura simetrică, cu termoizolația la mijloc. Rezultă deci că și din punct



de vedere al unor eforturi minime din variația de temperatură, structura de perete cu termoizolația la exterior este optimă. La alcătuirea stratului pe protecție exterioară a termoizolației trebuie a se avea în vedere eforturile mari la care poate fi supus datorită acțiunii radiației solare.

În cazul teraselor, cu  $R_{0ef} = 1,11 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$ , la structura cu termoizolația la exterior, pentru zona II-a climatică, diferența totală de temperatură între iarnă și vară, în stratul portant prezintă valoarea minimă,  $\Delta t = 19,5 ^\circ\text{C}$ , fig.123-b. Pentru structura cu termoizolația la partea inferioară,  $\Delta t = 67,6 ^\circ\text{C}$ , și prezintă deci valoarea maximă. Pentru structura de terasă omogenă, cu stratul portant și termoizolant din același material, situația este intermediară, față de cele două cazuri precedente, diferența de temperatură în acest strat  $\Delta t = 35,4 ^\circ\text{C}$ .

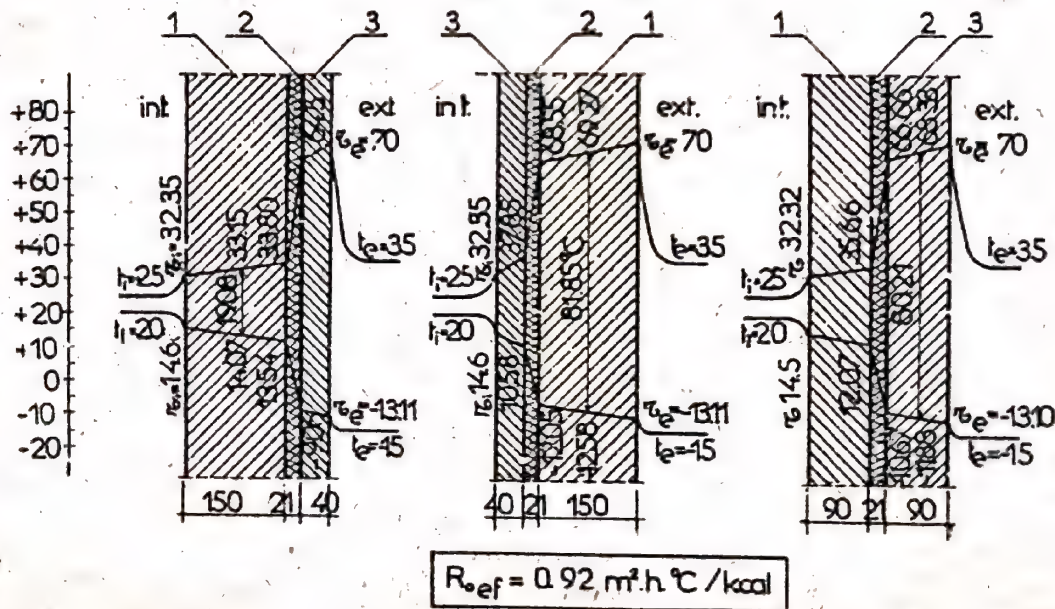


Fig.123,a. Influența izolației termice asupra eforturilor datorită temperaturii din peretele exterior.

A - Izolația termică la exterior; B - Izolația termică la

interiori C - structură simetrică.

1 - Strat de beton armat ;  $\lambda = 1,4 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  ;

2 - Strat de izolație termică, polistiren,  $\lambda = 0,035$   
Kcal/m.h. °C

3 - Strat de beton armat,  $\lambda = 1,4 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C.}$

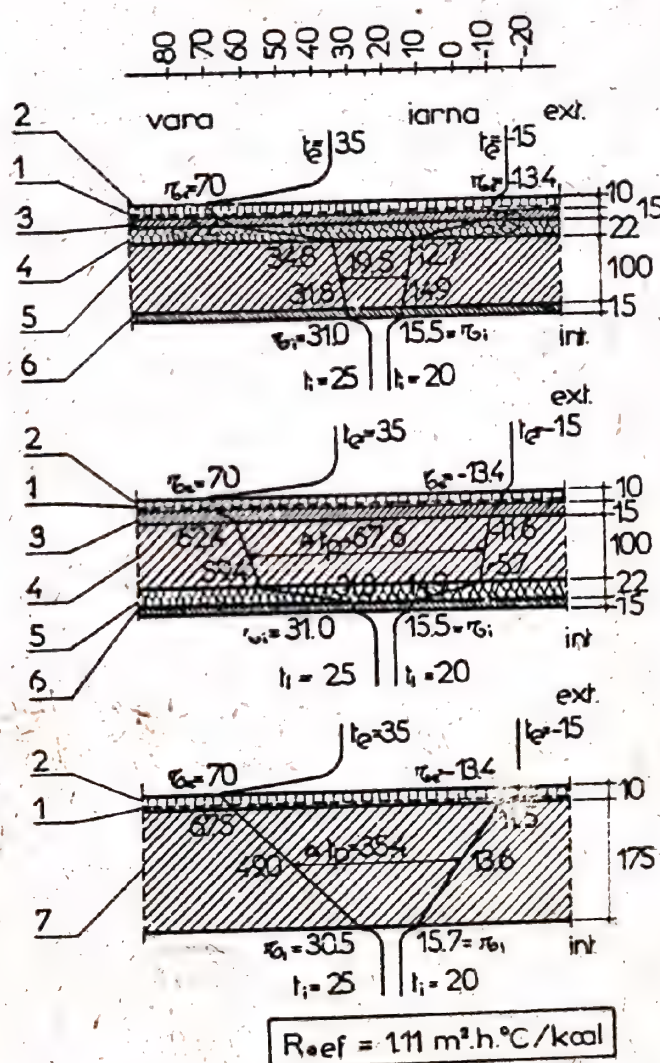


Fig.123,b. Influența izolației termice asupra  
eforturilor temperaturii din peretele exterior.

1 - Izolația termică la partea superioară;

B - Izolația termică la partea inferioară;

C - Dale de beton armat izolate termic.



- 1 - Strat de protecția izolației hidrofuge,  $\lambda = 0,5 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  ;
- 2 - Izolație hidrofugă ; 3 - Strat de egalizare,  $\lambda = 1,2 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  ;
- 4 - Strat de izolație termică, polistiren,  $\lambda = 0,035$  ;
- 5 - Planșee de beton armat monolit,  $\lambda = 1,4 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  ;
- 6 - Tencuiala plafonului,  $\lambda = 0,75 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  ;
- 7 - Dale pentru planșeu din beton armat izolant termic,  $\lambda = 0,20 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ .

Se poate face aprecierea că structura de terasă cu termoizolație la partea superioară este optimă din punct de vedere al eforturilor în stratul portant, datorită variațiilor de temperatură.

Pentru a evita transmiterea eforturilor din variațiile de temperatură la care este supus stratul de mortar de protecție, armat cu rabiț, este necesar un strat de flotantă sub hidroizolație, realizabil din hirtie perfo sau nisip, fig.124. Protecția hidroizolației cu nisip, pietriș sau dală, precum și culoarea deschisă a protecției micșorează efectul radiației solare.

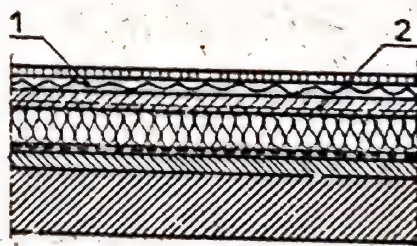


Fig.124. Flotația învelișului față de suport: 1 - Strat de flotantă ; 2 - mortar de protecție armat.

#### F. Caracteristicile termice ale pardoselilor.

Soluționarea judicioasă a pardoselilor din punct de vedere termic este o cerință importantă în construcțiile de

clădiri avînd în vedere faptul că omul prin intermediul încălțămîntului vine în contact direct cu aceste elemente de construcție. La diferențe mici de temperatură între corpul omenesc și pardoselă asigurarea confortului termic este condiționată de schimburi-  
le de căldură prin conducție, iar la diferențe mai mari de temperatura intervin și fenomene de radiație și convecție. Avînd în vedere aceste considerente s-a căutat soluționarea termică a pardoselii pe calea stabilirii diferenței de temperatură maximă admisibilă între aerul din încăpere și suprafața elementului de construcție, recomandîndu-se pentru clădiri de locuit și social-culturale, valoarea  $t_i - \vartheta_i = + 2,5^{\circ}\text{C}$ .

Rezistența termică necesară pentru a asigura  $\Delta\vartheta < 2,5^{\circ}\text{C}$  rezultă:

$$R_{\text{onec}} = \frac{t_i - t_e}{t_i - \vartheta_i} R_i = \frac{20 + 15}{2,5} \times 0,143 \approx 19 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{kcal} \quad (249)$$

Aplicarea acestei condiții conduce la costuri mari în ce privește izolația termică necesară astfel încît STAS 6472 - 68 prevede prescripții mai puțin severe astfel:

- la clădiri de locuit și social-culturale  $\Delta\vartheta < 4^{\circ}\text{C}$  ;
- la clădiri industriale de producție,  $\Delta\vartheta < 7^{\circ}\text{C}$ .

Considerînd temperatura curentă a aerului interior  $t_i = + 20^{\circ}\text{C}$  , rezultă că temperatura suprafeței pardoselii  $\vartheta_i$  nu trebuie să coboare sub  $16^{\circ}\text{C}$ .

La stabilirea acestor recomandări se are în vedere faptul că senzația de confort este influențată și de alți factori, în afara temperaturii suprafeței pardoselii din care menționăm temperatura aerului, viteza aerului, durata de staționare, natura materialelor pardoselilor, caracteristicile încălzimîntului și condițiile subiective ale omului.

Caracterizarea materialelor componente ale pardoselilor din punct de vedere al confortului termic se poate obține prin



luarea în considerare a coeficientului de asimilare termică  $S_{24}$ , definit de relația:

$$S_{24} = 0,51\sqrt{\lambda \theta \varrho} \quad (250)$$

Aprecieră comportării termice a pardoselilor se poate obține și prin luarea în considerare a coeficientului de pătrundere a căldurii „b”, având expresia:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot C \varrho} \quad [\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}] \quad (251)$$

După valorile coeficientului „b”, pardoselile se clasifică astfel:

- pardoseli foarte calde, dacă  $b < 5,0 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
- pardoseli calde, dacă  $b = 5,1 \dots 10,0 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
- pardoseli călduroase, dacă  $b = 10,1 \dots 15,0$
- pardoseli răcoroase, dacă  $b = 15,1 \dots 20,0$
- pardoseli reci, dacă  $b > 20,1$

Luând în considerare că temperatura suprafeței de contact între corpul omenesc și pardoseală depinde de temperaturile elementelor în contact  $t_1$ ,  $t_2$  și de coeficienții de asimilare termică a celor 2 corpuri, valoarea temperaturii de contact,  $t_c$ , rezultă din egalitatea fluxurilor de căldură:

$$(t_1 - t_c) \sqrt{\lambda_1 C_1 \varrho_1} = (t_c - t_2) \sqrt{\lambda_2 C_2 \varrho_2} \quad (252)$$

de unde:

$$t_c = \frac{t_1 \cdot b_1 + t_2 \cdot b_2}{b_1 + b_2} \quad (253)$$

sau

$$t_c = \frac{t_1 \cdot s_1 + t_2 \cdot s_2}{s_1 + s_2} \quad (254)$$

În funcție de valorile coeficienților de asimilare termică ai corpului omenesc ( $s_1 = 6 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ) și ai diferitelor materiale ( $s_2 = 2 \dots 14 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ) și de temperatura suprafeței pardoselilor, valorile  $t_c$  pot fi cuprinse între  $22^\circ\text{C}$  și  $28^\circ\text{C}$ , valoarea cea mai caldă fiind cea mai favorabilă.

Pe baza cercetărilor recente ale lui W. Frank în R.F.Germania, se prezintă în fig.125 clasificarea senzației termice în confortabil, răcoros, rece și înghețat, în funcție de temperatura aerului și temperatura suprafeței, iar în fig.126, în raport cu durata de staționare.

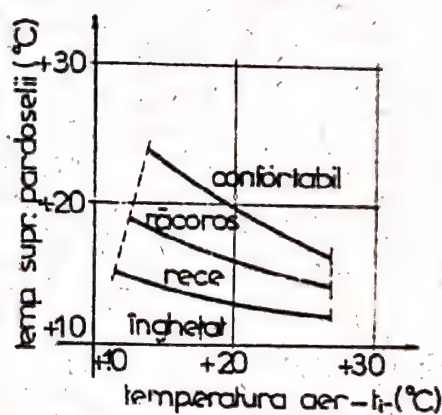


Fig.125. Senzația de confort la pardoseli, în funcție de temperatura suprafeței și a aerului interior.

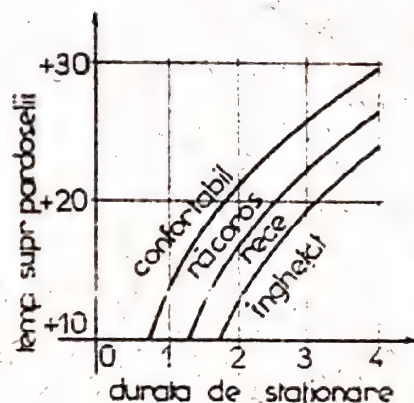


Fig.126. Senzația de confort la pardoseli în funcție de temperatura suprafeței și durata staționării.

Senzația de confort este determinată nu numai de materialul stratului de suprafață al pardoselii ci de structura sa, de temperatura de suprafață, de temperatura aerului, de viteza de mișcare a acestuia și durata de staționare. Ținând seama de aceste considerente în încăperile de producție cu staționare a



oamenilor se prevăd acțiuni locale pentru locurile fixe, iar pentru încăperile de circulație se aleg structuri care să permită întreținerea permanentă a acestora.

### G. EXEMPLE DE CALCUL

#### Exemplul 1.

Să se studieze comportarea la umiditate a pereților din panouri mari de beton armat în trei straturi, în regim staționar, pentru condițiile de iarnă din zona a II-a climatică.

Structura panoului prezentată în fig.127 este alcătuită din:

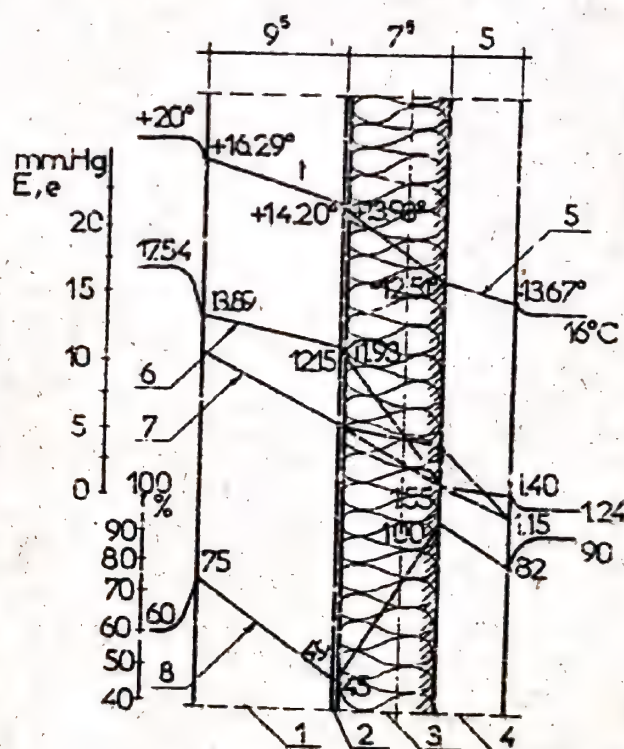


Fig.127. Determinarea condensului și umidității unui perete în panouri mari: 1-beton; 2-carton asfaltat; 3-vată minerală; 4-beton armat; 5- curba temperaturilor ( $t$ ); 6-curba elasticității maxime ( $E$ ); 7-curba elasticității parțiale ( $e$ ); 8-curba umidității-

lor relative ( $\varphi$ )

- Strat exterior de beton armat de 5 cm grosime cu  $\rho = 2400 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\lambda = 1,4 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Strat intermediar din plăci de vată minerală de 7,5 cm grosime, cu  $\rho = 350 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,075 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Strat de carton asfaltat de 0,1 cm grosime cu  $\rho = 1200 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,15 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Strat interior din beton de 9,5 cm grosime cu  $\rho = 2200 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\lambda = 1,2 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ .

Condițiile climatice interioare și exterioare sînt:

$$t_i = + 20^\circ\text{C}, \quad \varphi_i = 60 \% ;$$

$$e_i = 10,52 \text{ mm Hg} ;$$

$$t_e = - 15^\circ\text{C} ; \quad \varphi_e = 90 \% ;$$

$$e_e = 1,12 \text{ mm Hg}$$

Calculul este prezentat în tabelul 10. Pe baza rezistenței la permeabilitate termică a fiecărui strat se calculează rezistența termică totală,  $R_0 = 1,319 \text{ m}^2 \cdot \text{h.}^\circ\text{C/Kcal}$  și pe această bază temperatura  $t$  în stratul  $n$ . Cu ajutorul datelor din anexa XV, se calculează elasticitatea maximă de vapori  $E_n$ . Folosindu-se elementele din tabelul 10 privind coeficientul de permeabilitatea la vapori de apă  $\delta$  se determină rezistența totală la permeabilitate la vapori  $R_{ev} = 32,6 \text{ m}^2 \cdot \text{h.mm Hg/g}$  și cunoscîndu-se umiditățile relative  $\varphi_{i,e}$  se calculează elasticitățile parțiale de vapori  $e_n$  în structurile  $n$ . Cu aceste date se calculează umiditatea relativă  $\varphi_n$  în straturile componente. Trasînd la o anumită scară, curbele „ $E$ ” și „ $e$ ” rezultă zona din perete unde se poate produce condens (curba  $\varphi = 100 \%$ )



Tabloul 10

Calculul umidității la pereții din panouri mari, în timp de iarnă

Mr. Stratul crt de mate- rial	Gro- simea m	Conduc- tea ter- mică $\lambda$	Rezis- tența la per- meabi- litatea termică $R_n$	Dife- rența de tempe- ratură $\Delta t_i$	Tempera- tura $t_i$	Clas- sifica- rea ma- ximă la vapori de apă $E_n$	Coefi- cientul la meabi- litate la va- pori de apă $\delta$	Rezi- stența la vaporii de apă $R_{v,n}$	Dife- rența clasică de va- pori de apă $\Delta e_p$	Alcs- tici- tatea vapo- rilor de apă $e_{n,Hg}$	Uni- dita- tea rela- tivă la coe- ficientul de absor- ție $\varphi$	Umidi- tatea după inter- med $w_{on}$
1. Aer int.	-	-	-	-	+20,0	17,54	-	-	-	10,52	60	
2. Supraf. inter.	-	-	0,14	3,7	+16,29	13,89	-	0,2	0,06	10,46	75	
3. Beton greu	0,095	1,20	0,079	2,09	+14,20	12,15	0,006	15,5	4,47	5,99	49	
4. Carton asfalt.	0,001	0,15	0,01	0,27	+13,93	11,93	-	3,0	0,86	5,13	43	0,26
5. Plăci semiri- gide de va- ză	0,075	0,075	1,00	26,54	-12,61	1,55	0,055	1,3	0,38	4,75	100	1,90
6. Beton greu armat	0,05	1,40	0,04	1,06	-13,67	1,40	0,004	12,5	3,60	1,15	82	
7. Supraf. ext.	-	-	0,05	1,33	-15,0	1,24	-	0,1	0,03	-	90	-
8. Aer ext.	-	-	-	-	-15,0	1,24	-	-	-	1,12	90	-

$$R_0 = 1,319 \quad t = 35$$

$$R_{v,0} = 32,6 \quad e = 9,40$$

Debitul specific de vapori ce intră pe suprafața din stînga zonei de condens, conform relației 173 este:

$$P_I = \frac{5,13 - 1,55}{0,075} = 2,75 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Debitul specific de vapori ce iese din suprafața din dreapta zonei de condens este:

$$P_{II} = \frac{1,55 - 1,15}{\frac{0,05}{0,004}} = 0,03 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Debitul unitar de vapori de apă care se condensează rezultă:

$$P_a = 2,75 - 0,03 = 2,72 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Umiditatea de absorbție a vatei minerale, raportată în % la greutate, la umiditatea relativă a aerului de 100% este 1,9%. La greutatea vatei minerale de  $350 \times 0,075 = 26,25 \text{ Kg/m}^2$ , pentru a se obține umiditatea de absorbție este necesar a se considera cantitatea de vapori de apă:

$$\frac{26,25 \times 1,9}{100} = 0,490 \text{ Kg}$$

Numărul de zile după care se obține umiditatea de sorbție în vata minerală este:

$$Z = \frac{490}{2,72 \cdot 24} \approx 8 \text{ zile}$$

Valoarea reală a conductivității termice a materialului în aceste condiții devine:

$$\lambda_w = \lambda_e + \lambda_s \cdot \frac{\eta \cdot \omega_s}{100} = 0,075 + 0,075 \cdot \frac{2,9 \cdot 1,9}{100} = 0,078 \text{ Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$



### Exemplul 2.

Se cere determinarea izolației termice la terasa unei clădiri de locuit, amplasată în zona a II-a climatică ( $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ )

Rezistența termică necesară, fără luarea în considerare a inerției termice este dată de relația:

$$R_{\text{nec}} = \frac{R_0}{n} = \frac{t_i - t_e}{7 \cdot \Delta t} = \frac{35}{7 \cdot 4,5} = 1,11 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$$

Considerând soluția de terasă prezentată în figura 128-a, pe baza caracteristicilor termice ale materialelor componente, anexa I, se poate determina rezistența termică efectivă pe baza expresiei:

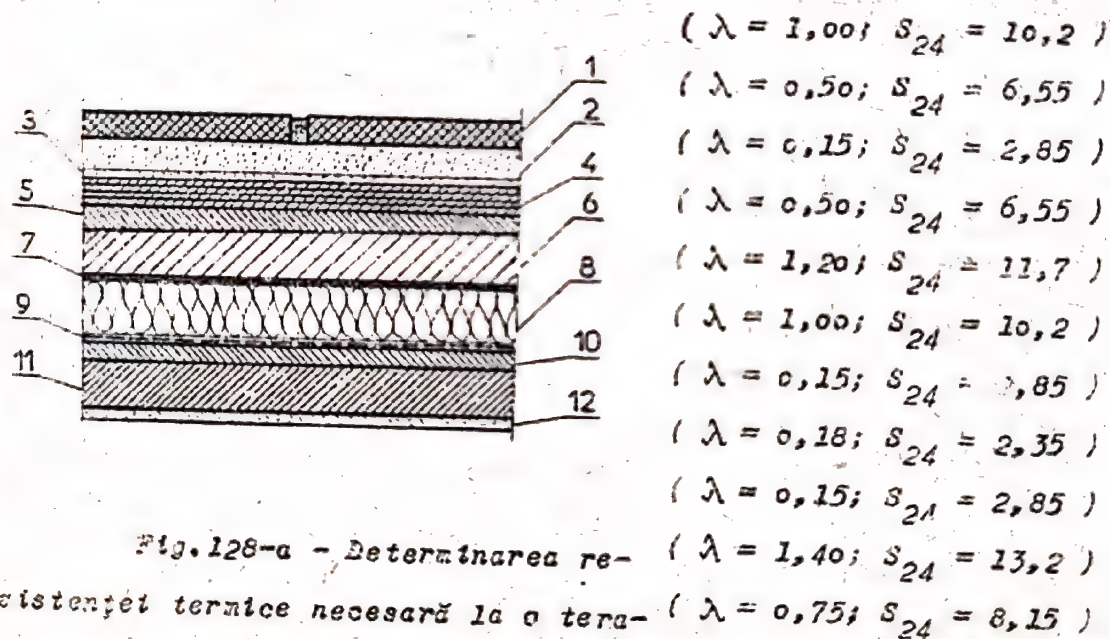


Fig. 128-a - Determinarea rezistenței termice necesare la o terasă:

1- dale de mozaic 30.30.30 mm;  
 $\rho = 2000 \text{ kgf/m}^3$ ; 2- nisip 30-40 mm,  $\rho = 1600 \text{ kgf/m}^3$ ; 3- strat de protecție a hidroizolației (nisip cernut fin 2-4 mm peste ultimul strat de bitum); 4- izolație hidroizolație (un strat carton asfaltat + 2 straturi pânză asfaltată + 4 bitum); 5- strat de egalizare 1,5 cm,  $\rho = 2200 \text{ kgf/m}^3$ ; beton de pantă,  $\geq 30 \text{ mm}$ ,  $\rho = 2000 \text{ kgf/m}^3$ ; 7- carton asfaltat; 8- blocuri de beton celular 11 cm,  $\rho = 600 \text{ kgf/m}^3$ ; 9- barieră de vapori (1-2 straturi de carton asfaltat); 10- strat egalizare, 1,5 cm  $\rho = 2200 \text{ kgf/m}^3$ ;

- 11 - planșeu de beton armat monolit, 10 cm,  $\rho = 2400 \text{ Kg/m}^3$  ;  
 12 - tencuială tavan 1,5 cm,  $\rho = 1700 \text{ Kg/m}^3$ .

$$R_{ef} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_e} = 0,14 + \frac{0,03}{1,0} + \frac{0,04}{0,50} + \frac{0,01}{0,15} +$$

$$+ \frac{0,004}{0,50} + \frac{0,015}{1,20} + \frac{0,03}{1,0} + \frac{0,002}{0,15} + \frac{d_{12}}{0,18} + \frac{0,004}{0,15} + \frac{0,015}{1,20} +$$

$$+ \frac{0,10}{1,40} + \frac{0,015}{0,75} + 0,05 = 1,11 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C/Kcal}$$

Din această relație se poate determina grosimea " $d_{12}$ " a stratului termoizolant

$$d_{12} = 0,18 (1,11 - 0,558) \cong 10 \text{ cm.}$$

Se calculează caracteristica "D" a inerției termice, cu expresia:

$$D = \sum_{k=1}^n R_k \cdot S_k = 3,784$$

Conform datelor din anexa VIII pentru  $D = 3-4$ ,  $m = 1,05$ , astfel încât rezistența termică necesară rezultă:

$$R_0 = m \cdot R_{nec} = 1,05 \cdot 1,11 = 1,16 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C/Kcal}$$

Grosimea finală a stratului de termoizolație " $d_{12}$ " rezultă 11 cm.

### Exemplul 3.

Să se studieze comportarea la umiditate a unei terase, în regim staționar, pentru condițiile de iarnă din zona a II-a climatică. Structura terasei, prezentată în figura 128 - b, este alcătuită din :



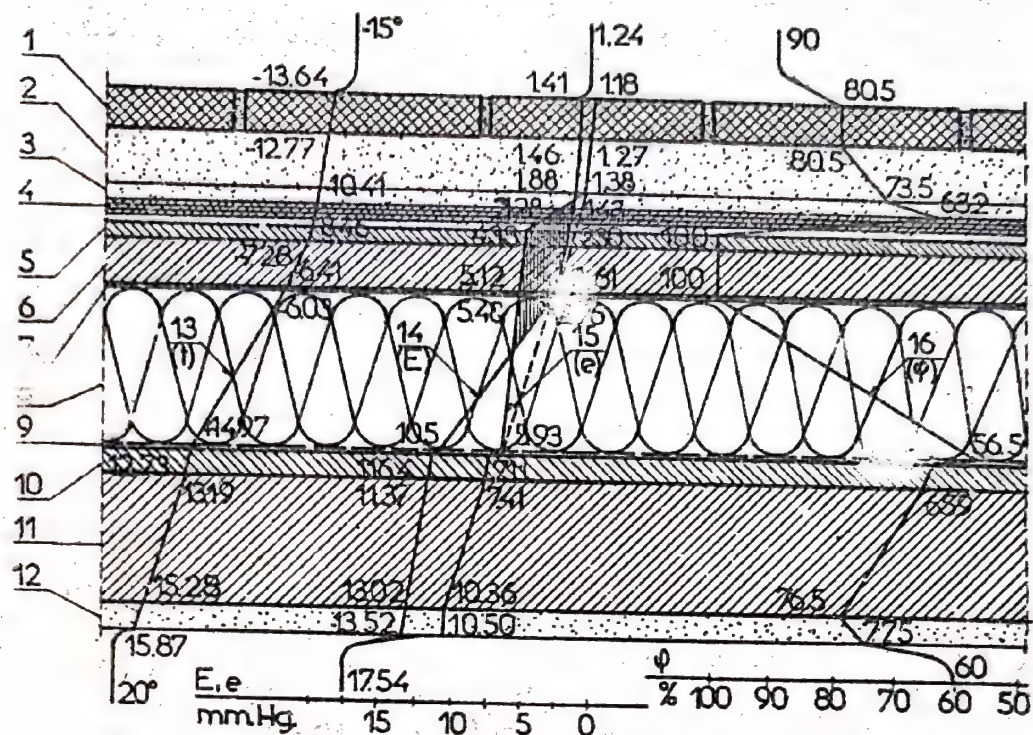


Fig.128 - b - Determinarea condensului și umezirii unei terase, pe timp de iarnă ; 1 - dale de mozaic; 2 - nisip ; 3 - strat protecție hidroizolație ; 4 - izolație hidrofulgă ; 5 - strat de egalizare ; 6 - beton pantă ; 7 - carton asfaltat ; 8 - blocuri de beton celular ; 9 - barieră vapor ; 10 - strat egalizare; 11 - planșeu b.c. 12 - tencuială tavan; 13 - curba temperaturilor; 14 - curba elasticității maxime (E) ; 15 - curba elasticității parțiale (e); 16 - curba umidității relative ( $\phi$ ).

- Dale de mozaic 300.300.30 mm ;  $\rho = 2000 \text{ Kg/m}^3$  ;

$$\lambda = 1,0 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C} ;$$

- Nisip 30-40 mm ;  $\rho = 1600 \text{ Kg/m}^3$  ;  $\lambda = 0,5 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;

- Strat de protecție a hidroizolației 10 mm ;

$$\lambda = 0,15 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C} ;$$

- Izolație hidrofulgă ( 1 strat carton asfaltat + 2 straturi pânză asfaltată între 4 straturi de bitum ).

- Strat de egalizare, 1,5 cm ;  $\rho = 2200 \text{ Kg/m}^3$  ;  
 $\lambda = 1,2 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Beton de pantă,  $\geq 30 \text{ mm}$  ;  $\rho = 2000 \text{ Kg/m}^3$  ;  
 $\lambda = 0,18 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Carton asfaltat, 2 mm ;  $\lambda = 0,15 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Blocuri de beton celular 11 cm ;  
 $\rho = 600 \text{ Kg/m}^3$  ;  $\lambda = 0,18 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Barieră de vapori ( 1-2 straturi de carton asfaltat) ;
- Strat egalizare 1,5 cm ;  $\rho = 2200 \text{ Kg/m}^3$  ;  
 $\lambda = 1,2 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Planșeu de beton armat monolit 10 cm,  $\rho = 2400 \text{ Kg/m}^3$  ;  
și  $\lambda = 1,4 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  ;
- Tencușeli tavan, 1,5 cm ;  $\rho = 1700 \text{ Kg/m}^3$  ;  
 $\lambda = 0,75 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$  .

Calculul este prezentat în tabelul 11. Pe baza rezistenței la permeabilitatea termică a fiecărui strat se calculează rezistența termică totală,  $R_0 = 1,188 \text{ m}^2 \cdot \text{h.}^\circ\text{C/Kcal}$  și pe această bază temperatura "t" în stratul "n". Cu ajutorul datelor din anexa IV se determină elasticitatea maximă de vapori " $E_n$ ". Folosindu-se elementele din anexa XVIII privind coeficientul de permeabilitate la vapori de apă  $S$  se determină rezistența totală la permeabilitate la vapori  $R_{ov} = 79,65 \text{ m}^2 \cdot \text{h.mm Hg/g}$  și cunoscându-se umiditățile relative  $\varphi_{1,s}$  se calculează elasticitățile parțiale de vapori " $e_n$ " în straturile "n".

Cu aceste date se calculează umiditatea relativă  $\varphi_n$  în straturile componente. Trasând la o anumită scară curbele  $E$  și  $e$ , rezultă zona din perete unde se poate produce condens (curba  $\varphi = 100\%$ ).

Debitul specific de vapori ce intră prin suprafața



din stînga zonei de condens, conform relației 173 este:

$$P_1 = \frac{5,93 - 2,67}{0,11} = \frac{3,26}{0,11} = 0,844 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Debitul specific de vapori de apă care ies prin suprafața din dreapta zonei de condens este:

$$P_2 = \frac{2,67 - 1,43}{34,25} = \frac{1,24}{34,25} = 0,036 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Debitul unitar de vapori de apă care se condensează rezultă:

$$P_a = 0,844 - 0,036 = 0,808 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Umiditatea de sorbție a betonului celular raportată în procente la greutate, la umiditatea relativă a aerului de 100% este 10,0 %. La greutatea betonului celular de  $600 \cdot 0,11 = 66 \text{ Kg/m}^2$ , pentru a se obține umiditatea de sorbție este necesar a se condensa cantitatea de vapori de apă:

$$\frac{66 \cdot 10}{100} = 6,6 \text{ Kg}$$

Numărul de zile după care se obține umiditatea de sorbție în betonul celular este:

$$Z = \frac{6600}{0,808 \cdot 24} = 340 \text{ zile}$$

Intrucît timpul în care betonul celular atinge umiditatea de sorbție este foarte mare, practic în intervalul de 2-3 luni cît durează iarna, această umiditate nu va fi atinsă.

#### Exemplul 4.

Să se determine amplitudinea oscilației temperaturii pe suprafața interioară a peretelui din panouri mari de beton armat, în trei straturi ( fig.129 ) la o clădire de locuit situată la latitudine de  $45^\circ$ .

Tabelul 11

Calculul regimului de umiditate la terase în timp de iarnă

Nr. crt.	Stratul de material	Grosimea $\delta$	Conduc- tivitatea termică $\lambda$	Rezisten- ța la per- meabilitatea termică $R_n$	Diferen- ța de tem- peratură $\Delta t$	Tempe- ratura $t_n$	Elasti- citatea maximă la va- pori de apă $E_n$	Coeffi- cientul de per- meabi- litate la va- porii de apă $\delta$	Rezisten- ța la per- meabi- litate la va- porii de apă $R_{v,n}$	Diferen- ța elas- tică de vapori de apă $\Delta e_n$	Elasti- citatea de vapori lor de apă $e_n$	Umi- dita- tea rela- tivă $\varphi_n$	Umidita- tea du- pă iso- termă de sorb- ție $\omega_{s,n}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	aer in- terior	-	-	-	-	+ 20	17,54	-	-	-	10,52	60,0	
2.	supra- față inte- rioră	-	-	0,140	4,13	15,87	13,52	-	0,20	0,023	10,497	77,5	
3.	tencu- ială tavan	0,015	0,75	0,020	0,59	15,28	13,02	0,013	1,15	0,136	10,361	79,5	
4.	plan- șeu h.a.	0,10	1,4	0,071	2,09	13,19	11,37	0,004	25,00	2,950	7,411	65,0	
5.	strat egali- zare	0,015	1,2	0,012	0,36	12,73	11,04	0,006	2,50	0,295	7,116	64,5	



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6. barieră vapori	0,004	0,15	0,000	0,76	11,97	10,51	-	10,00	1,180	5,936	56,5		
7. blocuri de b.c	0,11	0,18	0,610	18,00	- 6,03	2,76	0,0285	3,86	0,456	5,480	- 100,0		
8. carton asfaltat	0,002	0,15	0,013	0,38	- 6,41	2,67	-	3,00	0,354	5,126	- 100,0		
9. beton de pantă	0,03	1,00	0,030	0,87	- 7,28	2,47	0,008	3,75	0,443	4,683	- 100,0		
10. strat de egaliza- re	0,015	1,20	0,012	0,36	- 7,84	2,39	0,006	2,50	0,295	4,388	- 100,0		
11. izolație hidrofu- gă	0,014	0,5	0,028	0,82	- 8,46	2,22	-	25,00	2,950	1,438	65,0		
12. strat de o.c protec- ție a hidroiz.	0,01	0,15	0,066	1,95	- 10,41	1,98	0,020	0,50	0,053	1,385	73,5		
13. nisip	0,04	0,5	0,080	2,36	- 12,77	1,46	0,022	1,82	0,210	1,275	80,5		
14. dala mozaic	0,03	1,0	0,030	0,87	- 13,64	1,41	0,08	0,37	0,043	1,132	80,5		
15. supraf. ext.	-	-	0,050	1,46	- 15	1,24	-	0,10	0,012	-	90,0		
16. aer ext.	-	-	-	-	- 15	1,24	-	-	-	2,120	90,01		

Luind în considerare fluxul maxim și mediu la suprafețe verticale, orientate spre est și vest, din anexa XXIV rezultă:

$$Q_{\max} - Q_{\text{med}} = 575 - 130 = 445 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} ; z = 7 \text{ și } 17 \text{ h}$$

Pentru suprafețe din beton, din anexa XXV se obține

$$r = 0,65 \%$$

Considerind  $\alpha_e = 10 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  (fără vînt), conform expresiei:

$$A_{e \text{ con}} = (A_e + A_{\text{ech}}) \psi = (A_e + r \frac{I_{\max} - I}{\alpha_e}) \psi$$

se obține:

$$A_{\text{ech}} = \frac{0,65 \cdot 445}{10} = 28,9 \text{ grade}$$

Amplitudinea oscilației temperaturii aerului exterior, pentru orașul Ploiești, de exemplu, corespunzător latitudinii de  $45^\circ$  este:

$$A_t = 2 (27,7 - 21,8) = 2 \cdot 5,9 = 11,8 \text{ grade}$$

Deoarece:

$$\frac{A_{\text{ech}}}{A_e} = \frac{28,9}{11,9} = 2,4 \quad A_{e \text{ conv}} = (28,9 + 11,8) 0,99 = 40,5^\circ$$

Caracteristicile termice ale straturilor peretelui (figura 129) sînt:

$$R_1 = \frac{0,095}{0,095} = 0,079 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad/Kcal} ; S_1 = 11,7 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad} ; D_1 = 0,079 \times 11,7 = 0,92$$

$$R_2 = \frac{0,002}{0,002} = 0,013 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad/Kcal} ; S_2 = 2,85 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad} ; D_2 = 0,013 \times 2,85 = 0,04$$

$$R_3 = \frac{0,075}{0,075} = 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad/Kcal} ; S_3 = 1,15 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad} ; D_3 = 1,0 \times 1,15 = 1,15$$

$$R_4 = \frac{0,040}{1,40} = 0,028 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad/Kcal} ; S_4 = 13,20 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad} ; \frac{D_4 = 0,028 \times 13,20 = 0,37}{\sum D_K = \sum R_K S_K = 2,48}$$



Neglijind coeficientul de asimilare termică al stratului de carton asfaltat, se poate scrie:

$$S_1 = S_i = \frac{0,079 \times 11,7^2 + 7}{1 + 0,079 \times 7} = 11,4 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}$$

$$S_2 = \frac{1,0 \times 1,15^2 + 11,4}{1} = 1,02 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}$$

$$S_3 = S_e = \frac{0,028 \times 13,2^2 + 1,02}{1 + 0,028 \times 1,02} = 5,7 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}$$

Coeficientul de amortizare a temperaturii în perete se calculează cu relația ( 108 ):

$$\lambda = 0,9 e^{\sqrt{2} \cdot 2,48} \cdot \frac{(11,7 + 7)(2,85 + 11,4)(13,20 + 1,02)(10,00 + 5,7)}{(11,7 + 11,4)(2,85 + 1,02)(13,20 + 5,7) \cdot 10} =$$

$$= 0,9 \cdot 5,77 \cdot 0,80 \cdot 3,68 \cdot 0,74 \cdot 1,57 = 17,65 > 15$$

Amplitudinea oscilației temperaturii suprafeței interioare este:

$$A_{\tau_i} = \frac{40,3}{17,65} = \pm 2,3 \text{ grade}$$

Amplitudinea oscilației temperaturii pe suprafața exterioară este:

$$A_{\tau_e} = \frac{35}{1,57} = 25,4 \text{ grade}$$

Temperatura maximă pe suprafața exterioară rezultă:

$$\tau_e = 25,4 + 21,8 = 47,2^\circ \text{C}$$

Măsurători efective realizate în condițiile climatice din Iași, la aceste structuri de pereți au prezentat valori peste  $50^\circ \text{C}$ .

Defazarea oscilației temperaturii pe suprafața interioară a peretelui conform relației 145 este:

$$\eta = \frac{1}{15} \left[ 40,5 \cdot 2,48 - \arctg \frac{7}{7 + 11,4\sqrt{2}} + \arctg \frac{5,7}{5,7 + 10\sqrt{2}} \right] = 6,5$$

Temperatura maximă a elementului de construcție se obține la ora:  $15 + 6,5 = 21,5 \text{ h}$

## Caracteristicile termofizice ale materialelor de construcții

Nr. DENUMIREA MATERIALULUI crt.	Densitatea aparentă	Conductivitate termică	Coeficientul de asimilare termică	Coeficientul de permeabilitate la vapori	Căldura specifică				
						$\rho$	$\lambda$	$S$	$\mu$
						Kg/m.c.	W/m°C	Kcal/mhgrd	J/Kg°C
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Plăci și fci de asbociment	1900	0,35	0,30	6,32	5,45	0,0035	836,3	0,20	
2. Plăci termoizolatoare de asbociment	500	0,13	0,11	1,97	1,70	0,052	836,3	0,20	
	300	0,09	0,08	1,29	1,12	0,052	836,3	0,20	
3. Mortar asfaltic	1800	0,75	0,65	12,8	11,0	0,001	1672,64	0,40	
4. Beton asfaltic	2100	1,04	0,90	16,2	14,0	0,001	1672,64	0,40	
5. Beton armat	2600	2,03	1,75	17,86	15,4	0,004	836,3	0,20	
	2500	1,74	1,50	16,24	14,0	0,004	836,3	0,20	
	2400	1,62	1,40	15,31	13,2	0,004	836,3	0,20	
6. Beton simplu cu agregate de natură sedimentară și amorfă, artificială (pietriș, tuf calcaros, deșeurile ceramice, diatomit)	2200	1,39	1,20	13,57	11,7	0,0055	836,3	0,20	
	2000	1,16	1,00	11,60	10,0	0,007	836,3	0,20	
	1800	0,95	0,80	9,86	8,5	0,0010	836,3	0,20	
	1600	0,75	0,65	8,35	7,2	0,012	836,3	0,20	
	1400	0,58	0,50	6,96	6,0	0,018	836,3	0,20	
	1200	0,46	0,40	5,68	4,9	0,020	836,3	0,20	
	1000	0,37	0,32	4,64	4,0	0,022	836,3	0,20	



Anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Beton cu zgură granulată	1800	0,64	0,55	8,35	7,20	0,011	836,3	0,20	
	1600	0,58	0,50	7,48	6,45	0,012	836,3	0,20	
	1200	0,46	0,40	5,80	5,00	0,014	836,3	0,20	
8. Beton cu zgură expandată	1600	0,53	0,50	7,48	6,45	—	836,3	0,20	
	1400	0,46	0,40	6,26	5,40	—	836,3	0,20	
	1200	0,41	0,35	5,43	4,68	—	836,3	0,20	
9. Beton cu argilă expandată sau granulit.	1800	0,81	0,70	9,40	8,10	0,012	836,3	0,20	
	1400	0,58	0,58	9,34	8,05	0,013	836,3	0,20	
	1200	0,46	0,40	5,80	5,00	0,014	836,3	0,20	
	1000	0,35	0,30	4,58	3,95	0,018	836,3	0,20	
	800	0,29	0,25	3,74	3,22	0,025	836,3	0,20	
	600	0,23	0,20	2,90	2,50	0,035	836,3	0,20	
	400	0,17	0,15	2,03	1,75	0,045	836,3	0,20	
10. Beton celular autoclavizat	1000	0,41	0,35	4,93	4,25	0,015	836,3	0,20	
	900	0,35	0,30	4,35	3,75	0,016	836,3	0,20	
	800	0,29	0,25	3,71	3,20	0,018	836,3	0,20	
	750	0,27	0,23	3,48	3,00	0,019	836,3	0,20	
	600	0,21	0,18	2,73	2,35	0,023	836,3	0,20	
	550	0,20	0,17	2,55	2,20	0,024	836,3	0,20	
	400	0,14	0,12	1,83	1,58	0,030	836,3	0,20	
	300	0,13	0,11	1,51	1,30	0,035	836,3	0,20	
11. Vată minerală	200	0,07	0,06	0,87	0,75	0,065	752,6	18	
12. Vată de sticlă	100	0,06	0,05	0,56	0,48	0,065	752,6	18	
13. Pielă minerală	250	0,08	0,065	0,99	0,85	0,060	752,6	18	

anexa I (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14. Plăci semirigide de vată minerală		350 250	0,09 0,08	0,075 0,065	1,33 0,99	1,15 0,85	0,055 0,060	752,6 752,6	18 18
15. Plăci rigide de vată minerală de calitate superioară		100	0,04	0,035	0,43	0,37	0,065	752,6	18
16. Sticlă spongioasă		400 300	0,14 0,12	0,12 0,10	1,83 1,45	1,58 1,25	0,003 0,003	836,3 836,3	0,20 0,20
17. Sticlă		2500	0,75	0,65	10,67	9,20	0,000	836,3	0,20
18. Plăci din ipsos		1100	0,41	0,35	5,16	4,45	0,014	836,3	0,20
19. Beton de ipsos cu zgură granulată		1000	0,37	0,32	4,64	4,00	0,020	836,3	0,20
20. Umplutură din nisip uscat		1600	0,58	0,50	7,48	6,45	0,022	836,3	0,20
21. Pământ vegetal		1800	1,16	1,00	11,25	9,70	-	836,3	0,20
22. Pin și brad - perpendicular pe fibre		550	0,17	0,15	4,18	3,60	0,0002	2508,9	0,60
- în lungul fibrelor		550	0,35	0,30	5,80	5,00	0,0430	2508,9	0,60
23. Stejar și fag - perpendicular pe fibre		800	0,23	0,20	5,80	5,00	0,0075	2508,9	0,60
- în lungul fibrelor		800	0,41	0,35	7,66	6,60	0,0400	2508,9	0,60
24. Placă înclătat		600	0,17	0,15	4,35	3,75	0,003	2508,9	0,60

209



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
25. Rumeguș		250	0,09	0,08	2,03	1,75	0,035	2508,9	0,60
26. Stabiliz cu ciment port- land		600	0,23	0,20	4,52	3,90	0,014	2508,9	0,60
		400	0,15	0,13	3,02	2,60	0,035	2508,9	0,60
		300	0,14	0,12	2,56	2,12	0,040	2508,9	0,60
21. Beton cu agregate vegetale ( talaj, rumeguș și puzde- rie de cîneapă )		1000	0,26	0,22	5,80	5,00	0,040	2508,9	0,60
		800	0,21	0,18	4,76	4,10	0,040	2508,9	0,60
		600	0,16	0,14	3,65	3,15	0,040	2508,9	0,60
22. Plăci din fibre de lemn po- roase.		600	0,16	0,14	4,18	3,60	0,025	2508,9	0,60
		400	0,12	0,10	2,90	2,50	0,023	2508,9	0,60
		200	0,07	0,06	1,59	1,37	0,032	2508,9	0,60
23. Plăci din fibre de lemn dure		700	0,21	0,18	5,16	4,45	0,010	2508,9	0,60
24. Plăci din aşchii de lemn aglomerate									
- izolatoare		450	0,09	0,075	1,65	1,42	0,030	2508,9	0,60
- stratificate		650	0,17	0,15	3,77	3,25	0,012	2508,9	0,60
		550	0,15	0,13	2,61	2,25	0,020	2508,9	0,60
- omogene pline		700	0,22	0,19	3,26	2,83	0,010	2508,9	0,60
		650	0,18	0,16	2,90	2,50	0,012	2508,9	0,60
		500	0,14	0,12	1,60	1,38	0,025	2508,9	0,60
- omogene cu goluri		450	0,13	0,11	1,99	1,72	0,030	2508,9	0,60
25. Zgură de cazan		1000	0,29	0,25	4,21	3,63	0,026	836,3	0,20
		700	0,22	0,19	3,02	2,60	0,029	836,3	0,20
26. Zgură granulată de furnal înalt, zgură expandată		900	0,26	0,22	3,71	3,20	0,027	836,3	0,20
		500	0,16	0,14	2,20	1,90	0,031	836,3	0,20

Anexa I ( urmare )

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
26. Argilă expandată, granulit	900 500 300	0,41 0,21 0,15	0,35 0,18 0,13	4,69 2,51 1,65	4,05 2,16 1,42	0,028 0,040 0,050	836,3 836,3 836,3	0,20 0,20 0,20	
27. Diatomit	700 500	0,21 0,17	0,18 0,15	3,97 2,29	2,56 1,97	- -	836,3 836,3	0,20 0,20	
28. Marmură, granit, basalt	2800	3,48	3,00	25,40	21,90	0,0015	919,9	0,22	
29. Gresie și cuarțite	2400	2,03	1,75	17,98	15,50	0,005	919,9	0,22	
30. Pietre calcaroase	2000 1700	1,16 0,93	1,00 0,80	12,53 10,21	10,80 8,80	0,008 0,010	919,9 919,9	0,22 0,22	
31. Tuf calcaros	1300	0,52	0,45	6,73	5,80	0,020	919,9	0,22	
32. Zidărie din pietre de formă regulată, cu mortar greu, cu densitatea aparentă a pietrei de	2800 Kg/m <sup>3</sup> 2000 Kg/m <sup>3</sup> 1200 Kg/m <sup>3</sup>	2680 1960 1260	3,19 1,13 0,51	2,75 0,97 0,44	23,89 12,06 6,55	20,60 10,40 5,65	0,0028 0,0086 0,0175	919,9 919,9 919,9	0,22 0,22 0,22
33. Zidărie de perete de formă neregulată cu mortar greu cu densitatea aparentă a pietrei: de	2800 Kg/m <sup>3</sup> 2000 Kg/m <sup>3</sup> 1200 Kg/m <sup>3</sup>	2420 1900 1380	2,55 1,06 0,60	2,20 0,91 0,52	20,30 11,48 7,42	17,50 9,90 6,40	0,0055 0,0098 0,0162	919,9 919,9 919,9	0,22 0,22 0,22



1	2	3	4	5	6	7	8	9
34. Zidărie de cărămidă de argilă arsă	1800	0,81	0,70	9,63	8,30	0,014	878,1	0,21
35. Zidărie de cărămizi cu găuri verticale cu densitatea aparentă a cărămizilor de:								
1675 Kg/m <sup>3</sup>	1700	0,75	0,65	8,99	7,75	0,016	878,1	0,21
1475 Kg/m <sup>3</sup>	1550	0,70	0,60	8,24	7,10	0,017	878,1	0,21
1325 Kg/m <sup>3</sup>	1450	0,64	0,55	7,66	6,60	0,018	878,1	0,21
1200 Kg/m <sup>3</sup>	1350	0,58	0,50	7,02	6,05	0,019	878,1	0,21
1075 Kg/m <sup>3</sup>	1250	0,55	0,45	6,21	5,35	0,020	878,1	0,21
950 Kg/m <sup>3</sup>	1150	0,46	0,40	5,80	5,00	0,021	878,1	0,21
36. Zidărie din cărămizi de diatomit ( = 1000 Kg/m <sup>3</sup> )	1200	0,52	0,45	6,32	5,45	0,025	878,1	0,21
37. Zidărie din cărămizi de zgură ( = 1400 Kg/m <sup>3</sup> )	1500	0,70	0,60	8,12	7,00	0,014	878,1	0,21
38. Zidărie din cărămizi silico-calcare	1900	0,99	0,85	10,61	9,15	0,014	878,1	0,21
39. Zidărie din blocuri mici pline din beton ușor sau de masă mijlocie cu agregate de natură sedimentară sau amorfă, cu densitatea aparentă a blocurilor și zidăriei de:								
1980 Kg/m <sup>3</sup>	2000	1,16	1,00	12,06	10,4	0,008	878,1	0,21
1800 Kg/m <sup>3</sup>	1800	0,93	0,80	10,30	8,95	0,010	878,1	0,21
1620 Kg/m <sup>3</sup>	1600	0,75	0,65	8,80	7,60	0,012	878,1	0,21

- 212 -

Anexa I ( urmare )

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1440 Kg/m <sup>3</sup>	1400	0,61	0,53	7,40	6,40	0,018	878,1	0,21
	1260 Kg/m <sup>3</sup>	1200	0,50	0,43	6,30	5,40	0,020	878,1	0,21
	1080 Kg/m <sup>3</sup>	1000	0,42	0,36	5,40	4,55	0,022	878,1	0,21
40. Oțel de construcție		7850	58	50	125,74	108,40	0	480,8	0,115
41. Piese de fontă		7200	49,88	43	111,82	96,40	0	480,8	0,115
42. Aluminiu		2600	220,40	190	140,94	121,50	0	480,8	0,115
43. Stufit									
- presat manual		250	0,09	0,08	1,68	1,45	0,065	1672,6	0,40
- presat cu mașina		400	0,14	0,12	2,44	2,10	0,060	1672,6	0,40
44. Plăci de paie		1200	0,05	0,04	0,81	0,70	0,065	1672,6	0,40
45. Ampora		20	0,05	0,04	0,31	0,27	0,075	1463,5	0,35
46. Polistiren celular		20	0,04	0,035	0,29	0,25	0,008	1463,5	0,35
47. Spume de policlorură de vinil		70	0,05	0,040	0,58	0,50	-	1463,5	0,35
		30	0,05	0,040	0,46	0,40	-	1463,5	0,35
48. Poliuretan celular		30	0,04	0,035	0,70	0,60	-	1463,5	0,35
49. Mortar de ciment sau tencuială din acesta		1800	0,93	0,80	10,03	8,65	0,012	836,3	0,20
50. Mortar mixt (nisip - var - ciment) sau tencuială din acesta		1700	0,87	0,75	9,45	8,15	0,013	836,3	0,20



Anexa I ( urmare )

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
51. Mortar de var sau tencuială din acesta		1600	0,70	0,60	8,18	7,05	0,016	836,3	0,20
52. Tencuială din mortar de var pe trestie		1400	0,52	0,45	0,41	0,35	0,016	836,3	0,20
53. Mortar de agură		1400	0,64	0,55	7,37	6,35	0,015	836,3	0,20
		1200	0,52	0,45	6,15	5,30	0,018	836,3	0,20
54. Linoleum		1800	0,38	0,33	8,53	7,35	0,0002	1463,5	0,35
		1600	0,32	0,28	7,42	6,40	0,0002	1463,5	0,35
		1350	0,23	0,20	5,80	5,00	0,0002	1463,5	0,35
		1100	0,18	0,16	4,64	4,00	0,0002	1463,5	0,35
55. Carton		1000	0,23	0,20	4,93	4,25	-	1463,5	0,35
		700	0,17	0,15	3,60	3,10	-	1463,5	0,35
56. Folii de policlorură de vinil		1200	0,17	0,15	5,34	4,60	0,0002	1463,5	0,35
57. Pânză asfaltată, carton asfal- tat, carton impregnat.		600	0,12	0,1	3,42	2,95			

Anexa II ( tabelul 7 )

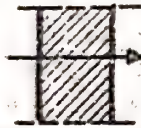


**A. Valorile coeficienților de schimb superficial de căldură**

Felul suprafeței și sensul fluxului termic	Valorile coeficienților de schimb superficial de căldură $i$ sau $e$		Valorile rezistențelor la schimb superficial de căldură $R_i$ sau $R_e$	
	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	$Kcal/m^2h \text{ } ^\circ C$	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$	$m^2h \text{ } ^\circ C/Kcal$
<p>- Suprafețele interioare ale spațiilor închise la o mișcare naturală a aerului:</p> <p>- pereți exteriori și interiori, ferestre exterioare și interioare, pardoseli și plafoane netede și cu nervuri proeminente și dese la fluxul de căldură de jos în sus.</p>				
	6	7	0,123	0,143
- suprafețe de încăperi (poduri, subsoluri ; viteza medie a aerului $v = 0,3 \text{ m/s}$ )	9	10	0,086	0,100
- pardoseli la fluxul de căldură de sus în jos, peste subsoluri	4	5	0,172	0,200
<p>Suprafețe exterioare în contact cu aerul exterior la pereți exteriori, acoperișuri, terase, ferestre exterioare:</p> <p>- în timpul iernii</p>				
	17	20	0,043	0,050
- în timpul verii	9	10	0,086	0,100

215



B. ( După literatura franceză )

Inclinarea pereților și sensul fluxului termic	Unități	Pereți exteriori			Pereți interiori		
 Pereți verticali	$m^2 \cdot ^\circ C / W$	0,11	0,06	0,17	0,12	0,12	0,24
	$m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$	0,13	0,07	0,20	0,14	0,14	0,28
 Pereți orizontali (flux ascendent)	$m^2 \cdot ^\circ C / W$	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
	$m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$	0,11	0,06	0,17	0,12	0,12	0,24
 Elemente orizontale (terase)	$m^2 \cdot ^\circ C / W$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34
	$m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kcal$	0,20	0,06	0,26	0,20	0,20	0,40

Anexa III

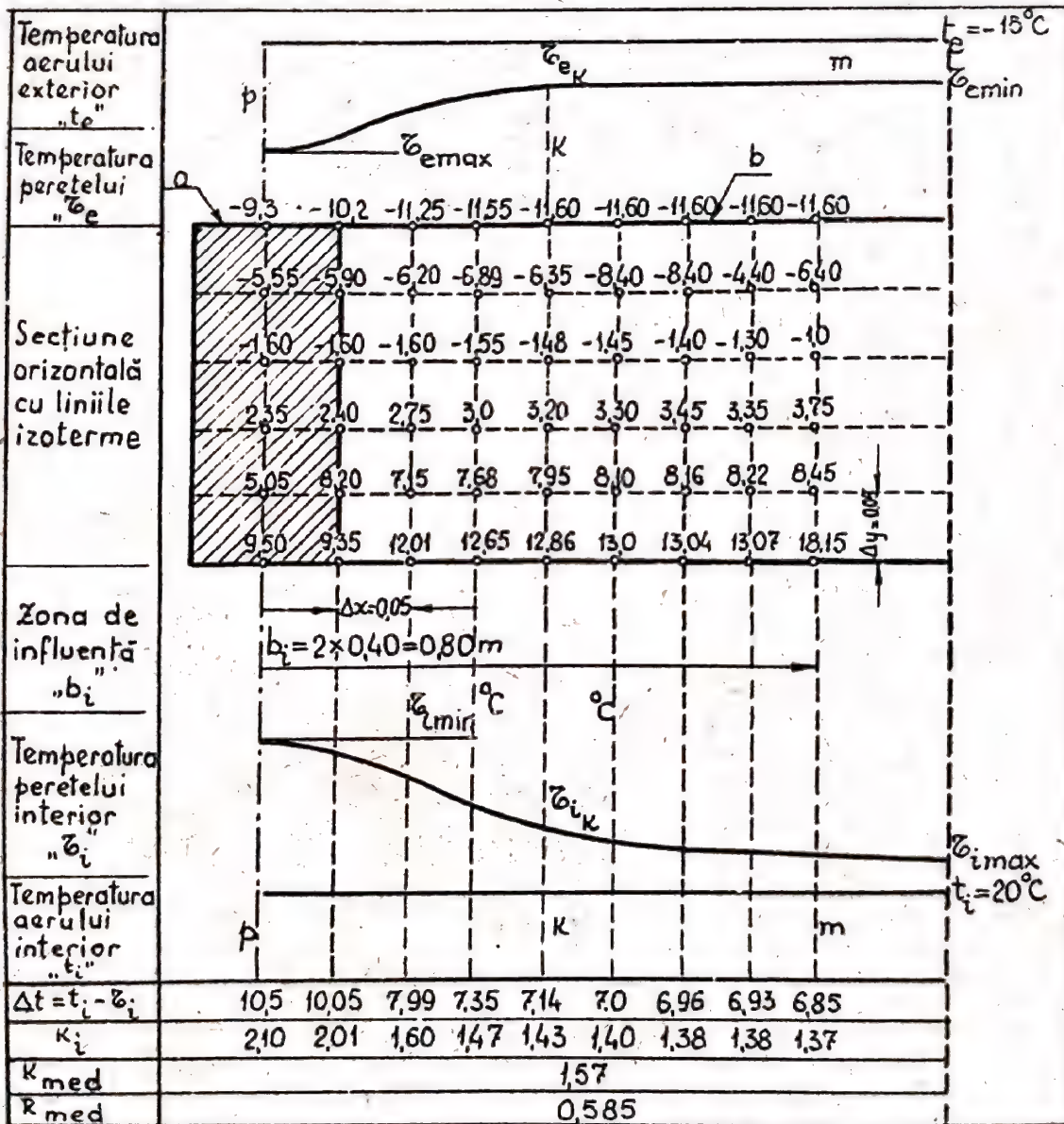
Rezistența la permeabilitatea termică a aerului

Poziția stratului de aer și direcția fluxului termic	Grosimea stratului de aer $d$ m	Valorile rezistențelor la permeabilitate termică ale straturilor de aer neventilate	
		$R$ $m^2 \text{ } ^\circ C/W$	$R$ $m^2 \cdot h \text{ grad}/Kec1$
Strat de aer vertical	10	0,14	0,16
	20	0,16	0,19
	50	0,18	0,21
	100	0,17	0,20
	150	0,16	0,19
Strat de aer orizontal, la fluxul termic de jos în sus	10	0,14	0,16
	20	0,15	0,17
	50	0,16	0,19
Strat de aer orizontal, la fluxul termic de sus în jos.	10	0,15	0,17
	20	0,17	0,20
	50	0,18	0,21



ANEXA IV

Valorile temperaturilor la o punte curentă determinată  
prin modelare electrică



ANEXA V

IMPARTIREA INDICATIVA A CLĂDIRILOR PE CATEGORII

A. Case de locuit și clădiri publice.

1. Clădiri de locuit și cele care se pot asimila acestora (cămine, internate etc.)

$$(t_i = 18... 20^{\circ}C, \varphi_i = 60\%)$$

Case de locuit

Camere de copii, din gări și din case de locuit

Grădinițe de copii

Spitale

Hoteluri

Cantine

Clădiri în stațiuni balneare

Ambulatorii

Farmacii

Centrale telefonice automate

Arhive

Biblioteci

Laboratoare (de tipul celor de la institutele de cercetări științifice)

Muzee

Cămine

Sanatorii

2. Clădiri publice (social-culturale, administrative, comerciale, etc.) și încăperile cu regim umed și foarte umed:

$$(t_i = 16... 18^{\circ}C ; \varphi_i = 50... 60\%)$$

Birouri și încăperi administrative

Încăperi anexe în clădiri industriale, cu excepția du-



purilor

Gări, în afară de camera mamei și a copilului

Incăperi de poștă și telegraf

Incăperi comerciale

Cinematografe, teatre

Scoli

3. Clădiri cu regim de umiditate foarte ridicat în care se admite condensarea vaporilor.

$$(t_i = 25...30^{\circ}\text{C} ; \varphi_i > 75\%)$$

Băi de aburi

Băi cu dușuri

Secții de spălare ale spăldătorilor

#### B. Clădiri industriale.

4. Clădiri industriale cu degajări mici de căldură în regim normal de umiditate.

$$(t_i = 16^{\circ}\text{C} ; \varphi_i = 50...60\%)$$

Secții de distilare

Secții de încărcarea acumulatorilor

Secții de beton celular

Secții de galvanoplastie

Secții de preparare a argilei

Secții de produse de ipsos și de ipsos cu leșurdă

Secții de produse de beton armat

Secții mecanice ( 60% din mașinile-unelte folosesc emulsie)

Vopsitorii cu vopsire prin pulverizare

Secții de vată minerală

Secții de finisare

Uzine de beton spongios și de material silico-calcar spon-

glos

Secții de impregnare

Secții de decapare, zincare, cositorie și nichelare

Secții de filtrare a saramurii

Secții de beton precomprimat

5. Clădiri industriale cu degajări mici de căldură și re-  
gim scăzut de umiditate.

(  $t_i \leq + 16^\circ \text{C}$  ;  $\varphi_i < 49\%$  )

Ateliere de reparații auto

Depouri pentru autocare

Laminoare

Fabrici de viscoză

Garaje de autovehicole

Timplării

Instalații de concasare și de ciuruit

Sculării

Instalații de calcinare

Fabrici de acizi

Uzine de montaj

Turnătorii

Vopsitorii ( vopsire cu pensula )

Secții de mașini

Secții de construcții metalice

Ateliere mecanice și de reparații

Modelării

Instalații de pompare pentru apă rece

Secții pentru pregătirea celulozei

Secții pentru pregătirea viscozei

Secții pentru pregătirea soluțiilor de finisare



Ateliere pentru reparații de vagoane

Secții de sudură

Depozite încălzite

Secții de pompe și rezervoare de sodă

Secții de prelucrarea țevelor

Fabrici de beton și de mortare

Secții de fabricarea țevelor sudate electric

6. Clădiri industriale cu degajări însemnate de căldură  
și regim de umiditate scăzut.

(  $t_i = + 20^{\circ}\text{C}$  ;  $\varphi_i < 45\%$  )

Secții de bandaje

Bluminguri

Secții de matrișare la cald

Laminoare de prelucrare la cald ( pentru șine, profile  
mari, profile mijlocii, profile mici, sîrmă, tablă subțire, ta-  
blă de grosime mijlocie etc.)

Secții de calibrare

Secții pentru strunjirea roților

Fierării mijlocii și mici

Secții de presare la cald

Secții de eclisare de cale ferată

Secții de tratamente termice

7. Clădiri industriale cu regim de umiditate ridicat.

(  $t_i \leq 25^{\circ}\text{C}$  ;  $\varphi_i = 61... 75\%$  )

Secții pentru stingerea varului

Vopsitorii

Camera de condiționare a mătasei

Secții pentru răsucirea fibrelor

Secții pentru rebobinarea fibrelor

Secții de bobinare

Resătorii centrifuge

Secții de răbboale mecanice

Secții de electroliză a zincului

Secții de mașini pentru fabricarea hirtiei

Camere de aburire acidă a fibrelor

Pielării

C. Categoria încăperilor unde nu se normează  $\Delta Z_{max}$

(  $t_i \leq 25^\circ C$  ;  $\varphi_i \leq 30\%$  )

Secții de cuptoare Bessemer și de cuptoare Thomas

Depozite de blumuri , de bramuri și de semifabricate

calde

Săli de cazane la centrale termoelectrice

Depozite de materiale calde de la turnătorie

Secții de cuptoare Martin

Secții de răcire la turnătorie

Secții de recoacere

Secții de cuptoare

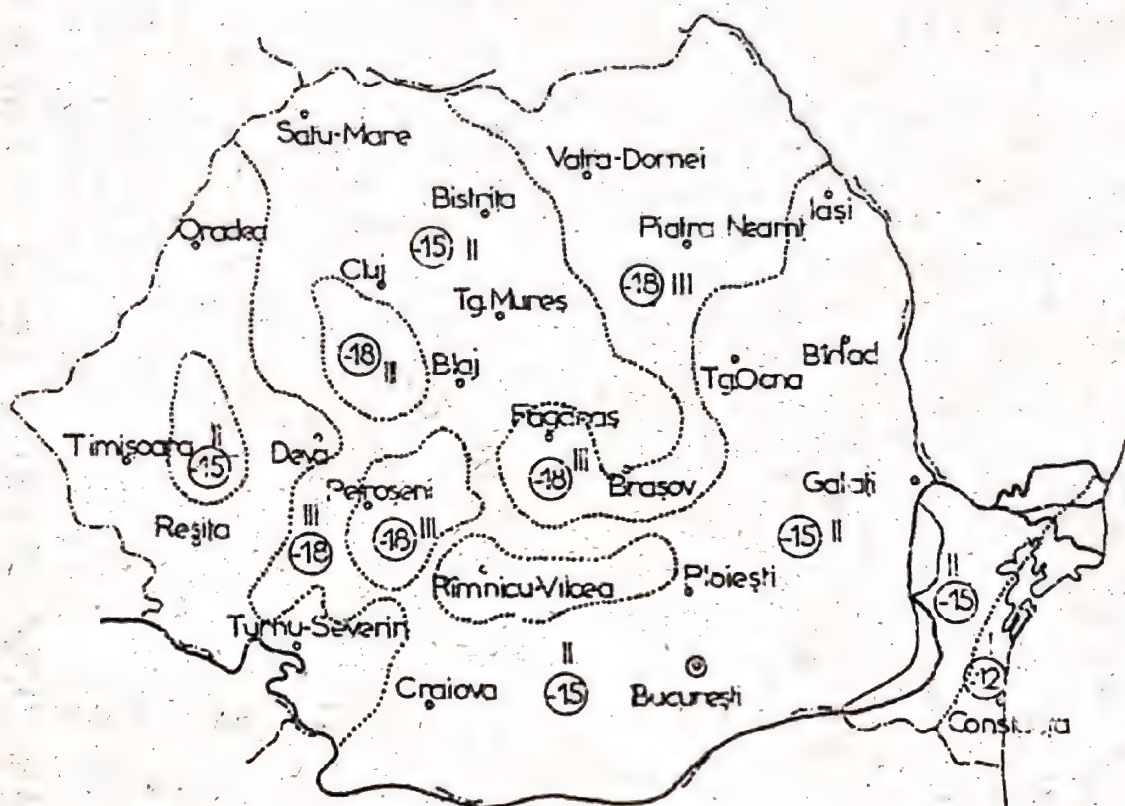
Camere de sub furnale

Fabrici de sticlă

Secții de lingouri



ANEXA VI



*Zonele climatice de temperaturi exterioare din  
Republica Socialistă România*

ANEXA VII (Tabelul 12)

Nr. crt.	Felul elementului exterior	Coefficientul n
0	1	2
1.	Pereți exteriori, acoperișuri fără pod și planșee peste gunguri, pardoseli de pământ.	1,0
2.	Planșee de pod, pereți exteriori și acoperișuri cu straturi de aer ventilate, elemente de construcție spre rosturi neizolate față de exterior.	0,9
3.	Elemente de construcție (planșee și pereți) ale spațiilor redi situate sub nivelul pământului sau peste nivelul pământului până la maximum 1 m, având ferestre sau găuri de ventilație.	0,5

0	1	2
4. Idem nr.crt.3, însă fără ferestre sau găuri de ventilație.		0,4
5. Planșee peste spații reci situate deasupra nivelului pământului, cu soclu având $R_{oc} > 0,86$ mp.°C/W sau $R_{oc} > 1$ mp.h.grd/Kcal		0,4
6. Idem nr.crt.5, cu soclu având $R_{oc} \leq 0,86$ mp.°C/W sau $R_{oc} \leq 1$ mp.h.grd/Kcal		0,75

ANEXA VIII

VALORILE COEFICIENTULUI DE MASIVITATE TERMICA „m” IN  
FUNCTIE DE CARACTERISTICA INERTIEI TERMICE D

Gradul de masivitate al elementelor de construc- ții	Caracteristica inerției termice D	Coeficientul m
Mare	6,1... 7	0,90
	5,1... 6	0,95
Mijlocie	4,1... 5	1,00
	3,1... 4	1,05
Mică	2,1... 3	1,10
	1,1... 2	1,15
Foarte mică	$\leq 1$	1,20

Observații:

- Pentru planșeele masive și ușoare deasupra subsolurilor și pivnițelor reci:  $m = 1,0$ ;
- Valorile coeficientului n se pot folosi prin interpolare.



VALORILE MAXIME ADMISE ALE DIFERENȚEI DE TEMPERATURA

$\Delta t_i$  max

Grupa de clădiri	Felul clădirilor și încăperilor	Umidi- tatea rela- tivă a aerului interior $u_i$ %	Tempe- ratura inte- rie- ră $t_i$ °C	Diferența de tempe- ratură maximă ad- misă $\Delta t_i$ max	
				pentru pereți exte- riori gradC	pentru acoperi- șuri tera- se gradC
1	2	3	4	5	6
I	Clădiri de locuit, încă- perile clădirilor socia- le cu necesități sani- tar-higienice ridicate (spitale, grădinițe de copii, creșe etc.)	<50 50..60	20..20 18..20	6	4,5
II	Încăperile clădirilor sociale cu regim de temperatură și umidi- tate normal (teatre, cinematografe, audiro- rii, școli, cluburi și încăperi anexe ale în- treprinderilor, cu ex- cepția încăperilor cu regim umed și foarte umed)	50..60	16..18	7	5,5
III	Încăperi încălzite ale clădirilor de produc- ție cu regim de umidi- tate normală și cu de- gajări de căldură ne- însemnate (hale meca- nice)	50..60	16	8	7
IV	Idem, cu regim de umidi- tate scăzut (hale de su- dat, de montaj, de mo- bile)	<50	16	10	8
V	Încăperile clădirilor de producție cu degajări însemnate de căldură și cu regim de umiditate scăzut (hale pentru pre- lucrări termice)	<45	20	12	12

ANEXA IX (urmare)

1	2	3	4	5	6
VI Incăperile clădirilor de producție cu regim de umiditate ridicat (țesătorii, filaturi)	61..75	16..25	$t_i - t_r$	$t_i - t_r$	
VII Idem, cu regim de umiditate foarte ridicat, unde se admite condensarea vaporilor pe suprafețele interioare ale pereților (băi, dușuri publice, albitorii)	75 > 75	16..30	6,5	$t_i - t_r$	

ANEXA X (Tabelul 13)

Valorile coeficientului  $\eta_p$

Schema	Valorile coeficientului $\eta_p$ pentru raportul $a/d$ :								
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5
I	0,12	0,24	0,36	0,55	0,75	0,83	0,87	0,90	0,95
II	0,07	0,15	0,26	0,42	0,62	0,75	0,81	0,85	0,94
III	0,25	0,30	0,96	1,26	1,27	1,21	1,16	1,10	1,00
IV	0,04	0,10	0,17	0,32	0,50	0,62	0,71	0,77	0,80

OBSERVAȚII:

- În cazul  $a/d > 1,5$  puntea termică trebuie examinată ca parte independentă a elementului de construcție, trebuind să aibă rezistența la transmisia căldurii  $R$  necorespunzătoare punctului 3.12. Această condiție nu se referă la pereții exteriori ai încăperilor care au o umiditate relativă a aerului interior mai mare de 75%.

- Pentru punțile termice cu profil compus, sînt necesare calcule speciale ale cîmpurilor de temperatură.



ANEXA XI

COEFICIENTUL DE AMORTIZARE A AMPLITUDINILOR VARIATIILOR  
DE TEMPERATURA )

Elemente separatoare de construcție	Valori minime )
Ferți exteriori ai clădirilor de locuit și comerciale pentru încă- peri ocupate permanent de oameni:	
- pe timp de iarnă	10
- pe timp de vară	15
Pereți exteriori ai clădirilor de birouri și administrative:	
- pe timp de iarnă	10
- pe timp de vară	12
Plășee de acoperișuri calde peste încăperi locuite sau peste încă- peri ocupate permanent	25
Plășee dalate de acoperiș ( plăci aniforme ale acoperișurilor reci) ca și înainte	15

Notă :

Valorile din tabelă nu sînt valabile pentru luminatoare.  
Coeficienții de amortizare ale amplitudinilor variației de  
temperatură pentru elementele despărțitoare de construcții ale  
clădirilor de producție sau industriale, se stabilesc după con-  
diții locale.

ANEXA XII

Valorile  $U_1, \dots, U_n$

Stratul considerat și condiția pentru $D_k$	Relația de calcul pentru $U_n$
1	2
a) Stratul 1 (interior)	
$D_1 > 1$ . . . . .	$U_1 = S_1$
$D_1 < 1$ , însă $D_1 + D_2 > 1$ . . . . .	$U_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_2}$

1	2
$D_1 + D_2 < 1$ , însă $D_1 + D_2 + D_3 > 1$ . . .	$U_1 = \frac{R_1 \cdot S_2^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot U_2}$
$D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 1$ , însă	
$D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} + D_n > 1$ . . . . .	$U_{n-1} = \frac{R_{n-1} \cdot S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1} \cdot S_n}$
b) Stratul 2	
$D_2 > 1$ . . . . .	$U_2 = S_2$
$D_2 < 1$ , însă $D_1 + D_2 < 1$ . . . . .	$U_2 = \frac{R_2 \cdot S_2^2 + S_3}{1 + R_2 \cdot S_3}$
$D_1 + D_2 < 1$ , însă $D_2 + D_3 + D_4 > 1$ . . . . .	$U_2 = \frac{R_2 + S_2^2 + U_3}{1 + R_2 \cdot U_3}$
c) Stratul n (exterior)	
$D_n > 1$ . . . . .	$U_n = S_n$
$D_n < 1$ . . . . .	$U_n = \frac{R_n \cdot S_n^2 + \alpha_e}{1 + R_n \cdot \alpha_e}$



VALORI MINIME ALE DEFAZAJULUI  $\eta$  A OSCILAȚIILOR TERMICE

Nr. crt.	Denumirea elementelor în construcție	Valorile minime $\eta$
1.	Acoperișuri la:	
	- Construcții de locuințe.....	10..... 12
	- Construcții de frigorigere.....	12..... 14
2.	Pereți exteriori la construcții publice având orientarea :	
	- Vest, Sud - Vest.....	8..... 10
	- Sud, Sud - Est.....	8
	- Est, Sud - Est, Sud - Vest.....	6 ..... 7

ANEXA XIV

VALORILE  $U_{max}$  PENTRU AER

Temperatura aerului în °C	- 10	0	+ 10	+ 16	+ 20	+ 40
Valori						
$U_{max} = U_s$	2,14	1,34	9,4	13,6	17,3	30,3
în $g/m^3$						

ANEXA XV

ELASTICITATEA MAXIMĂ E, ÎN MM HG, A VAPORILOR DE APĂ, ÎN FUNCȚIE DE TEMPERATURĂ t A AERULUI,

ÎN °C.

Temperatura aerului: t °C	Elasticitatea vaporilor de apă E mm col Hg	t °C	E mm col Hg	t °C	E mm col Hg	t °C	E mm col Hg
-25	0,47	-11	1,78	+3	5,69	+17	14,53
-24	0,52	-10	1,95	+4	6,10	+18	15,48
-23	0,58	-9	2,13	+5	6,54	+19	16,48
-22	0,64	-8	2,32	+6	7,01	+20	17,54
-21	0,70	-7	2,53	+7	7,51	+21	18,65
-20	0,77	-6	2,76	+8	8,05	+22	19,83
-19	0,85	-5	3,01	+9	8,61	+23	21,07
-18	0,94	-4	3,28	+10	9,21	+24	22,38
-17	1,03	-3	3,57	+11	9,84	+25	23,76
-16	1,13	-2	3,88	+12	10,52	+26	25,21
-15	1,24	-1	4,22	+13	11,23	+27	26,74
-14	1,36	0	4,43	+14	11,99	+28	28,35
-13	1,49	+1	4,93	+15	12,79	+29	30,04
-12	1,63	+2	5,29	+16	13,63	+30	31,84



PREZIUNILE PARTIALE ( ELASTICITATEA PARTIALA ) ALE VAPORIILOR DE APA, în mm

COL NO. LA DIFERITE UMIDITATI ALE AERULUI

Temp. °C	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	80 %	90 %	95 %	100 %
+ 20	7,89	8,77	9,64	10,52	11,39	12,27	14,02	15,78	16,65	17,53
- 10	0,88	0,98	1,007	1,17	1,27	1,37	1,56	1,76	1,85	1,95
- 15	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,87	0,99	1,12	1,18	1,34
- 20	0,55	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,62	0,69	0,73	0,77

ANEXA XVII

UMIDITATEA HIGROSCOPICA (DE SORBTIE ) A MATERIALELOR DE CONSTRUCTIE

Nr. Denumirea crt. materialului	Densitatea aparentă în stare uscată Kg/m <sup>3</sup>	Tempe- ratura de în- cercare în °C	Umiditatea higroscopă a materialelor, u, raportată în % din greutate în funcție de umiditatea relativă a aerului, în %.	40	50	60	70	80	90	100
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Argilă cu paie	1350	0		1,64	2,07	2,50	2,95	3,57	4,38	5,55
		35		1,34	1,69	2,05	2,51	3,12	3,93	5,10
		20		9,7	11,1	12,8	14,9	17,9	23,3	32,7
2. Ampora	18	20		8,8	10,0	10,9	12,5	16,1	24,5	35,5
3. Beton spumos	345	0-35		2,55	3,05	3,6	4,2	5,2	6,5	8,3
	660	20		2,0	2,8	2,85	3,6	4,75	6,2	10,0

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		850	20	3,5	4,05	4,7	5,5	6,5	8,1	1,35
4. Beton de zgură		-	35	1,03	1,25	1,48	1,73	2,03	2,53	3,43
5. Cărmăidă ceramică		1700	0-55	0,055	0,07	0,10	0,16	0,245	0,365	0,53
6. Cărmăidă silico-calcară		1780	-	0,3	0,35	0,4	0,45	0,55	0,7	0,9
7. Cărmăidă diatomit		480	0-35	1,05	1,25	1,55	2,0	2,85	4,45	7,10
8. Fibrolit		3,25	0-35	0,08	0,105	0,13	0,16	0,21	0,33	0,54
9. Lemn		500	0	8,6	10,2	12,0	14,0	16,7	21,9	31,3
10. Mortar ciment 1:4		1800	20	7,7	9,2	10,9	13,0	15,6	20,5	29,3
			20	1,0	1,05	1,10	1,3	1,75	2,35	3,3
11. Păisă de construcție		120	0	8,8	10,0	11,2	12,9	15,9	23,1	36,6
		17	6,7	6,7	7,5	8,3	9,6	12,6	19,8	33,3
12. Păisă fibrolemnoasă		200	20	5,0	5,7	7,0	8,9	11,5	15,8	26,0
13. Păisă minerală		150	20	0,05	0,07	0,10	0,18	0,32	0,50	0,75
14. Plută naturală		200	0	4,2	5,2	6,2	7,4	8,9	11,0	14,1
			35	3,4	4,1	4,9	6,1	7,6	9,7	12,8
15. Păisă semitriglă de vată minerală		350	20	0,25	0,3	0,4	0,55	0,75	1,1	1,9
16. Păisă de plută expandată		160	20	1,9	2,2	2,55	2,95	3,5	4,2	5,6
17. Păisă de rumeguș cu bitum		320	20	5,0	5,7	7,0	9,5	13,0	18,2	30,0



ANEXA XVII (urmare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18. Sticlă spongioasă		375	20	0,05	0,08	0,11	0,15	0,3	0,8	3,9
19. Tuf		960	35	7,1	9,1	11,2	13,3	16,1	20,4	26,6
20. Vată minerală		150	20	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,18	0,60
21. Zgură de cărbune		725	35	0,95	1,17	1,40	1,65	1,97	2,40	2,95

**REZISTENȚA LA PERMEABILITATE LA VAPORI PENTRU MATERIALE ȘI  
ELEMENTE DE CONSTRUCȚII**

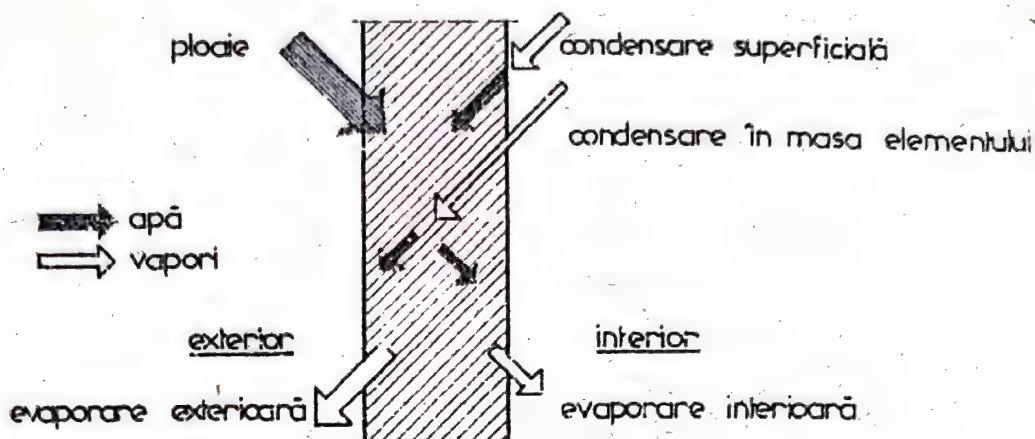
Nr. crt.	Materialul de construcție	Densitatea aparentă kgf/m <sup>3</sup> $\rho$	Permeabili- tatea la va- pori de apă $\delta$ in g/m.h.mmHg	Gros- imea d cm	Rezisten- ța la per- meabili- tate la vapori $R_v$ m <sup>2</sup> .h.mmHg/g
0	1	2	3	4	5
1.	Cărămidă poroasă	1200 - 1400 -	0,030	6,5	2,2
2.	Cărămidă obișnuită	1700 - 1800 -	0,020	6,5 12,0 25,0 38,0	3,0 6,0 11,5 19,0
3.	Cărămizi arse dure	1800	0,010	12	12,0
4.	Cărămizi de Klinker	2000	0,050	12	24,0
5.	Cărămizi silico-cal- care	1900	0,006	12 25 38	19,0 40,0 60,0
6.	Tencuială cu mortar de var	1700	0,014	2	1,40
7.	Tencuială de var ci- ment 1:4:8	1900	0,009	2,5	2,75
8.	Tencuială de ciment 1:2, 1:3	2100	0,005	2,5	5,0
9.	Grund de ciment	2100	0,003	1,5	2,20
10.	Tencuială de ipsos	1200	0,016	2,0	1,25
11.	Beton celular	900-1000	0,030	3,0 5,0 7,5 10,0	1,00 1,70 2,50 3,50
12.	Beton cu agregate ceramice	1400-1500	0,025	10,0	4,0
13.	Beton slab (1:8)	2200	0,015	5,0	3,3



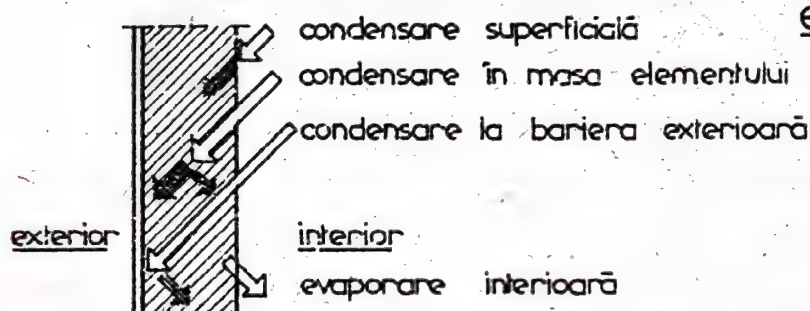
0	1	2	3	4	5
14. Beton cu pietriș B 120		2200-2400	0,010-0,012	5,0	5,40
15. Beton cu pietriș B 160		2200-2400	0,003-0,006	10,0	21,50
16. Pardoseală de ci- ment		2100	0,003	2,0	7,8
17. Lemn(pin, molid)		6,0	0,004	2,0	4,3
18. Plăci dure de fibre	-		0,004	0,5	1,25
19. Plăci din fibre lemnoase -			0,013	1,0	0,8

a. Structură omogenă

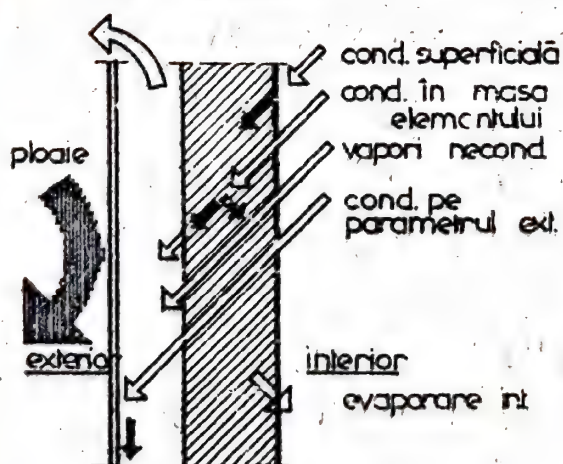
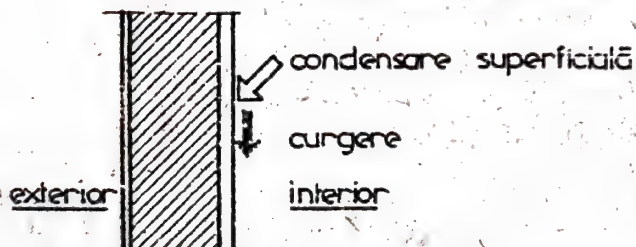
ANEXA XIX



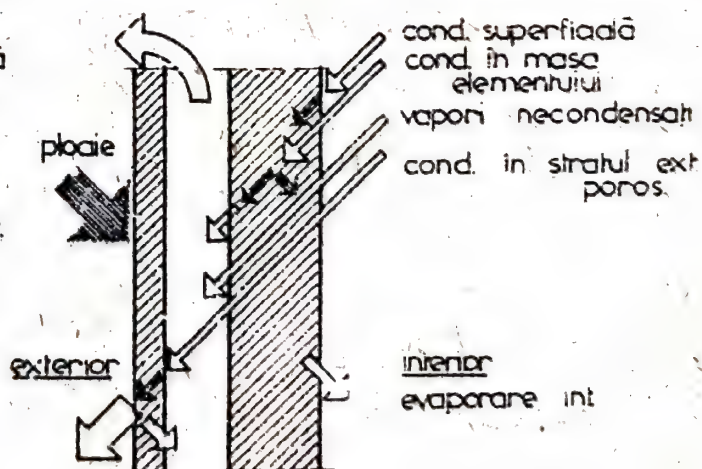
b. Structură cu barieră etansă la exterior



c. Structură cu barieră etansă la interior



d. Structură cu strat exterior etans



e. Structură cu strat exterior poros



REZISTENȚA LA PERMEABILITATE LA VAPORI  $R_v$ , în  $m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg/g}$ ,  
ALE UNOR MATERIALE DE CONSTRUCTIE, SUB FORMA DE STRATURI  
SUBTITI SI FOI

Nr. crt.	Denumirea stratului	Grosime stratului mm	Valorile de calcul ale rezistenței la permeabi- litate la vapori $R_v$ , în $m^2 h \text{ mmHg/g}$
1.	Strat de bitum aplicat la cald	-	2,0
2.	Peliculă de vopsea de ulei aplicată în două straturi, cu prealabilă grunduire și șpăcluire	-	4,8
3.	Peliculă de email pe bază de alchidici	-	3,6
4.	Peliculă de email pe bază de copolimer vinilic, aplicat în două straturi	-	29,0
5.	Peliculă de email pe bază de clorocauciuc, aplicat în două straturi	-	26,0
6.	Strat de mastic de bitum	-	4,8
7.	Idem nr.crt.6, două straturi	-	8,1
8.	Folie de polietilenă	0,5	29,0
9.	Carton asfaltat	1...2,5	2,5
10.	Pînză asfaltată	2,5...3	8,3
11.	Hidroizolație alcătuită din două straturi de carton as- faltat, între trei straturi de bitum.	8	20,9
11.	Hidroizolație alcătuită din două două straturi de carton as- faltat, un strat de pînză asfaltată între patru stra- turi de bitum	12...14	29,2

OBSERVAȚIE. În cazul unor materiale ale căror valori  $R_v$  nu  
sînt indicate în anexa I, valorile  $R_v$  se vor stabili pe cale ex-  
perimentală.

GREUTATEA SPECIFICĂ A AERULUI LA PRESIUNEA DE 760 torr

Tempe- ratura °C	Greuta- tea spe- cifică kgf/m <sup>3</sup>	Tempera- tura °C	Greuta- tea spe- cifică kgf/m <sup>3</sup>	Tempe- ratura °C	Greuta- tea spe- cifică kgf/m <sup>3</sup>	Tempe- ratura °C	Greuta- tea spe- cifică kgf/m <sup>3</sup>
°C	ρ	t	ρ	t	ρ	t	ρ
- 20	1,396	- 6	1,322	8	1,256	22	1,197
- 19	1,394	- 5	1,317	9	1,252	23	1,193
- 18	1,385	- 4	1,312	10	1,248	24	1,189
- 17	1,379	- 3	1,308	11	1,243	25	1,185
- 16	1,374	- 2	1,303	12	1,239	26	1,181
- 15	1,368	- 1	1,298	13	1,235	27	1,177
- 14	1,363	0	1,293	14	1,230	28	1,173
- 13	1,358	1	1,288	15	1,226	29	1,169
- 12	1,353	2	1,284	16	1,222	30	1,165
- 11	1,348	3	1,279	17	1,217	31	1,161
- 10	1,342	4	1,275	18	1,213	32	1,157
- 9	1,337	5	1,270	19	1,209	33	1,154
- 8	1,332	6	1,265	20	1,205	34	1,150
- 7	1,327	7	1,261	21	1,201	35	1,146



REZISTENȚA MATERIALELOR ȘI A ELEMENTELOR DE CONSTRUCȚIE LA

PERMEABILITATE LA AER, în  $m^2 \cdot h \cdot mm \cdot H_2O / Kg$

Nr. crt.	Denumirea materialului sau elementul de construcție	Grosimea	Rezistența la permeabilitate la aer
		mm	$R_a$ $m^2 \cdot h \cdot mm \cdot ccl$ $H_2O / Kg$
1.	Asterială din scinduri dispuse alăturat	25 - 30	0,005
2.	Asterială din scinduri geluite așezate alăturat sau îmbinate în falț.....	20 - 25	0,01
	Idem, îmbinate în nut și feder.	20 - 25	0,15
3.	Asterială cu strat intermediar de carton asfaltat.....	50	10,0
4.	Asterială din stabiliz, din plăci fibrolemnoase izolatoare:		
	- cu rostuire.....	15 - 70	0,25
	- fără rostuire.....	15 - 70	0,05
5.	Asterială din plăci fibrolemnoase dure cu rostuire.....	10	3,4
6.	Beton obișnuit fără rosturi...	100	2000,0
7.	Beton spumos autoclavizat, fără rosturi sau cu rosturile umplute cu mortar.....	100	200,0
8.	Idem, beton spumos neautoclavizat	100	20,0
9.	Beton cu zgură fără rosturi...	100	1,4
10.	Calcar cochiliifer.....	500	0,6
11.	Carton asfaltat(fără rosturi).	1,3	6,5
12.	Carton asfaltat.....	1,5	50,0
13.	Hirtie de ziar sau tapet cu rosturile lipite.....	-	2,0
14.	Pardoseală de zlolit.....	25	185,0
15.	Plăci de ipsos cu rosturi.....	10	2,0

ANEXA XIII (urmare)

Nr. crt.	Denumirea materialului sau elementul de construcție	Grosimea	Rezistența la permeabilitate la aer
		mm	$\frac{R_a}{m^2 \cdot h \cdot mm} \text{ col } H_2O/Kg$
16.	Ipsos spumos.....	100	4,0
17.	Plăci rigide de vată minerală	50	0,2
18.	Placaj de lemn fără rosturi..	3..4	300,0
19.	Tencuială de argilă, executată, îngrijit.....	5,7	0,7
20.	Tencuială pe zidărie de cărămidă sau piatră.		
	- de ciment.....	15	38,0
	- de var.....	15	14,5
21.	Tencuială de var și ipsos pe șipci ( de lemn).....	20	1,7
22.	Zidărie de cărămidă cu mortar ciment-var cu grosimea:		
	- peste o cărămidă.....	> 240	1,8
	- sub o cărămidă.....	≤ 240	0,2
23.	Zidărie de cărămidă cu grosimea de 1 $\frac{1}{2}$ . Cărămizi cu mortar de ciment-var.....	-	0,9
24.	Zidărie din blocuri de beton cu zgură cu mortar de ciment-var	400	1,3
25.	Zid de grinzi sau birne cioplite cu rosturi umplute....	-	4,0



Rezistența termică minimă ( $1/K$ ) pentru clădiri de locuit, în funcție de  $t_e$  de calcul, se ia :

Elemente de construcții	Temp. $\pm 0$	ext. - 5	de calcul - 10	$t_e$ - 15	$^{\circ}C$ - 20
1. Pereți exteriori	0,31	0,58	0,70	0,80	0,92
2. Acoperișuri	0,67	0,83	1,00	1,17	1,33

Rezistența termică minimă ( $1/\Lambda = R$ ) pentru clădiri de locuit, în funcție de temperatură exterioară de calcul,  $t_e$

Elemente de construcții	Temp. $\pm 0$	ext. - 5	de calcul - 10	$t_e$ - 15	$^{\circ}C$ - 20
1. Pereți exteriori	0,15	0,40	0,50	0,60	0,70
2. Acoperișuri	0,45	0,65	0,80	1,00	1,15

Rezistența termică minimă pentru a obține, temperatura  $t_i = 16,5^{\circ}C$  pe suprafața interioară a peretilor exteriori

Rezistența termică	Temp. $\pm 0$	de iarnă - 5	- 10	de calcul - 15	- 20
- Rezistența termică totală, $1/K$	0,85	1,05	1,40	1,50	1,70
- Rezistența termică la transmisia prin conducție	0,65	0,85	1,10	1,30	1,50

După DIN 4108 - Rezistența termică minimă  $\frac{1}{\Lambda}$  în funcție de masă se ia:

Masă în $Kg/m^3$	20	30	50	100	150	200	300
$R_{min} = \frac{1}{\Lambda}$	1,85	1,65	1,40	0,95	0,65	0,60	0,55

Fluxul specific mediu  $I$  și maxim  $I_{max}$  al radiației solare în 24 h ( $Kcal/m^2 \cdot h$ ) și ora  $Z$  de maximum al radiației solare.

Suprafețele și orientarea lor	Valorile $I, I_{max}, Z$ pentru latitudinea geografică	35°	40°	45°
Orizontală	$I$	285	265	250
	$I_{max}$	835	780	690
	$Z$	12	12	12
Verticală, orientată spre sud	$I$	50	95	125
	$I_{max}$	215	350	460
	$Z$	12	12	12
Verticală orientată spre sud-est și sud-vest	$I$	90	125	145
	$I_{max}$	410	480	535
	$Z$	9 și 10	9 și 15	9 și 15
Verticală, orientată spre est și spre vest	$I$	115	125	130
	$I_{max}$	590	580	575
	$Z$	8 și 16	8 și 16	7 și 17

ANEXA XXV

Coefficientul de absorbție a radiației solare de către diverse materiale de finisaj exterior

Denumirea materialelor de finisaj exterior al elementelor exterioare	$r$ %
<u>Materiale pentru acoperiș</u>	
Fot de azbociment	0,65
Foats zincată de acoperiș	0,65
Carton asfaltat	0,88
Carton asfaltat presărat cu nisip	0,65
Tablă vopsită în culori deschise	0,45
Idem, în culori închise	0,81
Oiane vopsite în culori deschise	0,60



Denumirea materialelor de finisaj exterior  
al elementelor exterioare

r  
%

Materiale pentru pereți

Granit	0,55
Blocuri de beton	0,65
Cărămidă glazurată în culoare crem	0,35
Cărămidă obișnuită	0,65
Cărămidă silicioasă	0,35
Tencuială exterioară deschisă	0,40

BIBLIOGRAFIE

( Capitolul Higrotermica )

1. BERTHIER J. - Les points thermiques ou ponts thermiques. C.C.S.T.B nr.42/334, 1960, Paris.
2. BONHOMME A. - L'isolation thermique, Paris, 1967
3. BRUCKMAYER FR. - Der Praktische Wärme- und Schallschutz im Hochbau, 1948, Wien.
4. CROISSET M. - L'hygrothermique dans le bâtiment, Paris, 1968.
5. EICHLER FR. - Praktische Wärme im Hochbau. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1964.
6. EICHLER FR. - Căldura și vaporii de apă în clădiri (traducere din limba germană). Editura tehnică, 1957, București.
7. EICHLER FR. - Studiu practic asupra izolației termice a clădirilor (trad. din limba germană), I.D.T. București
8. FOCSA V., RADU A., VERES A. - Considerații privind izolarea termică a clădirilor de locuit cu pereți neomogeni. Rev. Construcțiilor și a materialelor de construcții, nr.10/1962, București.
9. FOCSA V., RADU A., VERES A. - Studiul izolației termice a clădirilor de locuit cu pereți din zidărie eficientă prin analogie electrică, Bul.I.P.Iași Tom.VIII(XII), Fasc. 3 - 4, 1962, Iași
10. FOCSA V., RADU A. - Indrumător pentru lucrări de laborator la Clădiri Civile și Industriale. Editura didactică și Pedagogică, București, 1967.
11. FOCSA V., RADU A., VERES A. - Studiul termic al elementelor de construcție prin analogie electrică, Bul.INCERC ISCIS, 4/1962, București.



- 246 -

12. F O C S A V. - Rezistența termică, amortizarea și defazajul oscilațiilor termice ale pereților, determinate prin analogie electrică, Lucrare de doctorat, Cluj 1967.
13. F O K I N K.V. - Стратегия теплотехника обрабатывающих частей зданий. Cos. ind. po stroitelstvu i architektura, 1954, Moskva.
14. G E O R G E S C U ST., D I M I T R I U - V I L C E A, B O C A N C E A A. - Izolarea termică a clădirilor, Editura tehnică, București, 1961.
15. G O L E A N D N.M. - Calcul și încercarea izolației termice. Trad. din limba rusă, Ed. Tehnică, 1963, București.
16. G E O R G E S C U ST. - O entări noi în problema izolației termice termice a elementelor de construcție. Revista construcțiilor și a materialelor de construcții. Nr. 10/1962, București
17. G L A S E R H. - Grafische Verfahren zur Untersuchung von Diffusion - vorgängen. Kältetechnik, 10, 1959.
18. K L E B E R K. - Bauphysik. V.E.B. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1963.
19. I A C O B M. - Heattransfer, New York, 1950.
20. L E R O U X R. - Notions sur la thermique avec le régime variable. Revue Isolations et Revêtements. Nr. 36/1962, Paris.
21. N A S H D.G., C O R I E J., B R O U G H T O N - Thermal insulation of buildings, 1956, London.
22. N E G O I T A A. - Materiale moderne în construcții, Ed. Tehnică, 1960, București.
23. N E G O I T A A., D I M I T R I U - V I L C E A E., R A D U L E S C U A. - Pereți exteriori din materiale noi eficiente termic, pentru clădiri de locuit. Revista construcțiilor și a materialelor de construcții. Nr. VII/1960, București.
24. R A D U A., - Contribuții la dezvoltarea unor metode analitice și experimentale de cercetare a regimului higrotermic în construcții, teză, Cluj, 1969.

25. SKLOVER A.H., VASILEV B.F., USKOV F.V.

- Osnovi stroitelnoi teplo tehniki  
zhitih i obshchestvenih zdaniy. Gos.  
izd.liter. po stroit. i arh.  
Moskva, 1956.

26. SUFRIN I., SAXONE A., STOICA - Izola-  
tione în construcții. Ed. Tehnică, 1956,  
București.

27. x x

- Regimul confortabil de temperatură  
și structura clădirii. The Architec-  
tural Review, nr.11/1961.

28. R.E.F.P. 58

- Recueil des éléments utiles à  
l'établissement et à l'exécution  
des projets et marchés de bâti-  
ments en France. Vol.II, Sciences  
du Bâtiment, section D.

29. STAS E 5995/58

- Propagarea căldurii. Terminologie  
și simboluri.

30. STAS 6472/68

- Termotehnica în construcții.  
Principii fundamentale de protec-  
tare.

31. VARLAH E.

- L'étanchéité dans la construction,  
Eyrolles, Paris, 1964.



## Capitolul II ACUSTICA CLĂDIRILOR

### 1. Generalități.

Preocupările privind acustica clădirilor datează din timpuri străvechi. Civilizația antică se preocupa de construcții de teatre și temple unde s-au aplicat principii de acustică valabile și în timpurile moderne. În arhitectura antică preocupările de acustică se refereau în special la construcțiile în aer liber (anfiteatre). Acustica spațiilor închise (încăperilor) este o preocupare relativ recentă. Primele relații fundamentate științific, privind acustica clădirilor, au fost precizate de către Sabine, la începutul secolului nostru. El a stabilit ecuațiile care leagă volumul și absorbția acustică a încăperii de durata de reverberație, punând bazele metodei geometrico-statistice cu valabilitate actuală în acustica construcțiilor. Metoda geometrică este completată în prezent cu metoda cîmpului sonor studiat cu ajutorul ecuației undelor.

Problemele de acustica clădirilor trebuie analizate sub două aspecte distincte:

- studiul sunetului ca factor nociv (zgomot) în construcții și măsuri de protecție sau de izolare fonică și de combatere a zgomotului ;
- studiul asigurării condițiilor pentru o bună audiție în săli, auditorii etc., constituind acustica încăperilor.

În țara noastră s-au obținut realizări valoroase din punct de vedere acustic, de exemplu: Casa radiodifuziunii, Centrul cinematografiei de la Buftea, Sala Palatului R.S. România, cinematografe, săli de cultură etc. Dezvoltarea construcțiilor

culturale în viitor implică o largă și aprofundată cunoaștere a principiilor de acustică arhitecturală, iar cerințele de confort acustic la locuințe și la locurile de muncă implică măsuri eficiente de izolare fonică.

Izolarea acustică intervine la clădirile de locuit și social-culturale, la construcțiile industriale și în spațiile de circulație urbană, în exteriorul și interiorul construcțiilor. Preocupările științifice privind izolarea fonică a clădirilor și asigurarea condițiilor optime pentru audierea cuvintului și a muzicii în încăperi și săli sunt condiționate de cunoașterea sunetului ca fenomen fizic și fiziologic.

Necesitatea actuală a măsurilor constructive pentru izolarea acustică a clădirilor rezultă din următoarele cauze:

- creșterea considerabilă, în ultimii ani, a surselor de zgomot;
- creșterea zgomotului datorită mijloacelor noi de circulație și a intensității circulației pe stradă;
- creșterea zgomotului industrial datorită dezvoltării industriilor și a instalațiilor industriale;
- dezvoltarea traficului aerian etc.

Abordarea măsurilor de protecție acustică în aceste condiții, este necesară având în vedere numeroase tulburări de natură nervoasă, a bolilor de inimă și cardiovasculare și alte efecte fiziologice vătămătoare la care este supus omul modern.

Acțiunea vătămătoare a zgomotelor se manifestă prin aceea că vibrațiile sonore se transmit asupra creierului și de aici asupra întregului sistem neurovegetativ, putând crea astfel un dezechilibru al organismului, insomnii, neuroze, boli digestive, boli de inimă etc.

Lehman stabilește următoarele valori ale nivelului fo-



nic funcție de efectele pe care le produce zgomotul:

- între 30...60 dB<sub>A</sub>      efect mai ales psihic ;
- între 65...90 dB<sub>A</sub>      efect psihic și vegetativ (alci  
    intră cea mai mare parte a zgo-  
    motului de circulație) ;
- între 90...120 dB<sub>A</sub>      efect psihic, vegetativ și oto-  
    logic ;
- la 120 dB<sub>A</sub>      după scurt timp apare surzenia  
    rezistentă.

Necesitatea unor măsuri de protecție acustică se impune și datorită tendințelor actuale privind folosirea noilor materia-  
le de construcție și a aloduirii elementelor de construcție și a  
construcțiilor. Tendința micșorării grosimii elementelor de con-  
strucție și înlocuirea elementelor pasive cu elemente ușoare im-  
plică măsuri de izolare acustică a tuturor construcțiilor noi, în  
special în domeniul frecvențelor joase. Realizarea confortului la  
noile construcții este indisolubil legată de măsuri constructive  
eficiente privind protecția și combaterea zgomotului pe cîi mul-  
tiple (la sursă, la transmitere, prin absorbție, etc.)

## 2. Noțiune de acustică.

### 2.1. Sunetul ca fenomen fizic.

Sunetul poate fi privit în două accepțiuni:

- fizic, ca fenomen obiectiv, prin care se înțele-  
ge vibrația particulelor de aer, capabilă de a produce senzația  
auditivă ;
- fiziologic, ca fenomen subiectiv, prin care se  
înțelege senzația recepționată și localizată de organele auditi-  
ve.

Sunetul fizic este produs de vibrația corpurilor solide, care transmisă aerului înconjurător ajunge la urechea omenească dînd senzația sonoră.



Fig.130. Vibrația  
lamei elastice

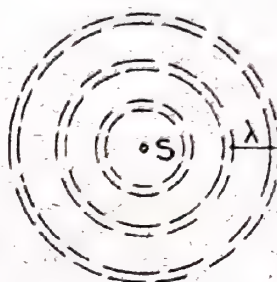


Fig.131. Prestunea și  
destinderea aerului.

Exemplul clasic de vibrație este prezentat de lama elastică încastrată la o extremitate și liberă la cealaltă (fig. 130) și care se deplasează cu o viteză constantă, trecînd periodic prin poziția inițială de repaus ( A ).

Propagarea sunetelor prin aer se realizează prin unde sonore, iar în solide prin unde elastice. Distanțele dintre două maxime de prestune succesive pe direcția de propagare caracterizează lungimea de undă, care pentru sunete este de 3 m. la 20 m.

Asupra aerului, vibrația mecanică exercită presiuni și destinderi, ce fac ca moleculele aerului să vibreze în jurul unei poziții de echilibru (fig.131). În zonele de prestune moleculele se apropie unele de altele, iar în zonele de deprestune ele se depărtează. Ceea ce s-a arătat pentru aer este valabil și pentru apă și corpuri solide, în general pentru orice material. Sunetul este deci oscilația moleculelor materiale în jurul pozițiilor lor de echilibru.



Propagarea energiei sonore prin unde elastice este datorată mișcării din aproape în aproape a particulelor materiale, prin deplasare transversală sau longitudinală pe direcția de înaintare a oscilației prin comprimări și dilatări a particulelor materiale, fig.132.

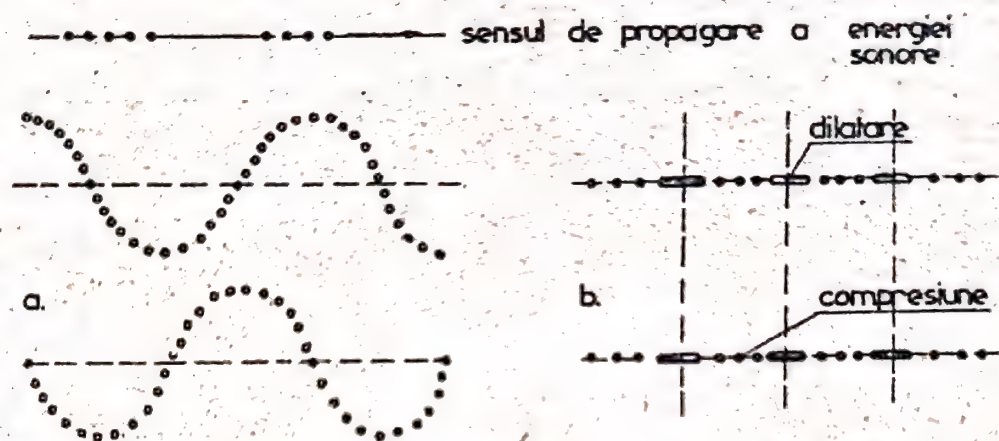


Fig.132. Propagarea sunetului prin unde elastice: a) unde transversale; b) unde longitudinale.

Modificările de presiune ale mediului elastic de propagare a sunetului definesc presiunile sonore  $p$ . În aer aceste presiuni sonore pot fi mai mari sau mai mici decât presiunile aerului liniștit  $p_0$ , adică  $p \geq p_0$ .

Sursa sonoră se consideră punctiformă, iar forma undelor sonore, sferică. La distanțe mari față de sursă undele sferice pot fi considerate plane.

Mișcarea extremității libere a lamei poate fi exprimată printr-o curbă sinusoidală, fig.133, în cazul vibrației întreținute având expresia:

$$x = a \sin(2\pi \gamma t + \beta) = a \sin(\omega t + \beta) \quad (255)$$

în care:

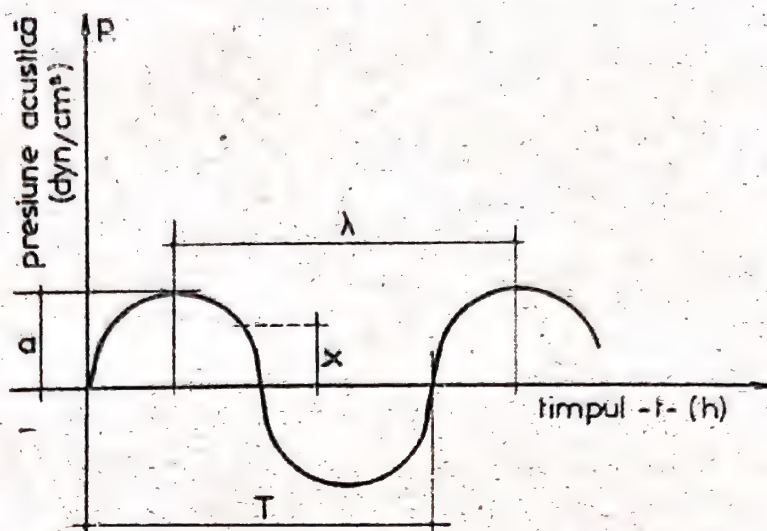


Fig.133. Exprimare sinusoidală a sunetului pur întreținut

-  $x$ , presiunea sonoră exercitată de sursa sonoră asupra aerului, în  $\text{dyne/cm}^2$  ;

-  $a$ , amplitudinea, ce caracterizează cea mai mare deplasare a capătului liber a lamei față de poziția de repaus și reprezintă presiunea maximă exercitată asupra aerului ;

-  $t$ , timpul, în s ;

-  $\gamma$ , frecvența definită de numărul de vibrații produse în unitatea de timp, măsurată în Hz (hertz), cicluri pe secundă ;

-  $T$ , perioada sau ciclul, adică timpul necesar unei vibrații pentru a reveni la poziția de repaus trecând succesiv prin două maxime de sens contrar ;

-  $\omega$ , pulsația oscilației sonore, egală cu  $2\pi \cdot \gamma = \frac{2\pi}{T}$  ;

-  $\beta$ , faza inițială

Expresia vitezei oscilației este:

$$v = \frac{dx}{dt} = a\omega \cos(\omega t + \beta) \quad (256)$$



Accelerația mișcării rezultă:

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = -a\omega^2 \sin(\omega t + \beta) = -\omega^2 x \quad (257)$$

Viteza oscilației sonore variază cu natura mediului prin care se propagă sunetul, pentru solide prezentându-se astfel sub formă:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (258)$$

în care:

- $E$ , modulul de elasticitate al aerului, în  $\text{g/cm.s}^2$ ;
- $\rho$ , densitatea aparentă a mediului, în  $\text{g/cm}^3$ .

Viteza undei sonore în aer și gaze se exprimă cu relația

$$C = \gamma \sqrt{\gamma_0 \cdot \frac{p}{\rho}} \quad (259)$$

în care:

- $\gamma$ , frecvența sunetului, în  $\text{Hz}$ ;
- $\gamma_0$ , raportul dintre căldura specifică la presiune constantă și volum constant a mediului de propagare, la aer  $\gamma_0 = 1,41$ ;
- $\rho$ , densitatea mediului în  $\text{g/cm}^3$ ;
- $p$ , presiunea statică în  $\text{dyn/cm}^2$ .

Produsul  $\rho \cdot c$  este rezistența specifică acustică a mediului ( $\text{g/cm}^2$ ) sau impedanța acustică și prezintă valoarea 43 pentru aer.

Pentru lichide expresia vitezei sunetului este:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\beta \rho}} \quad (260)$$

în care  $\beta$  este coeficient de compresibilitate.

În solide viteza sunetului mai poate fi exprimată cu relația:

$$C = \sqrt{\frac{E}{2\rho(\mu-1)}} \quad (261)$$

în care:

- $E$ , modulul lui Young, în  $\text{g/cm.s}^2$ ;
- $\mu$ , coeficientul lui Poisson.

În tabelul 12 se prezintă valorile sunetului prin diferite medii.

Tabelul 12

Viteza sunetului în diferite medii

nr. crt.	Materialul	Viteza sunetului c, în m/s
1	aer	340
2.	apă	1450
3.	oțel	5000
4.	lemn	1000 - 4000
5.	cauciuc	50
6.	zidărie	3652
7.	aluminu	5104
8.	sticlă	5190

În aer viteza sunetului variază cu temperatura și umiditatea. Undele sonore nu se propagă în vid, ele presupun un mediu de propagare (gazos, lichid, solid). Materialele compacte (betonul, fierul, pământul) propagă bine sunetele. Materialele poroase (vata, pîsla, țesăturile) absorb sunetele și se opun la trecerea lor, de aceea se folosesc la izolări acustice. absorbția sunetelor se explică prin transformarea energiei acustice în căldură.

Între frecvența ( $\nu$ ), lungime de undă ( $\lambda$ ), viteza ( $c$ ), și perioada ( $T$ ) a oscilației sonore există relațiile:

$$\nu = \frac{1}{T} ; \nu = \frac{c}{\lambda} ; \lambda = c \cdot T \quad (262)$$

Sunetul pur, caracterizat printr-o anumită frecvență și prestune poate fi obținut cu ajutorul unui aparat numit generator de ton. (fig.133). Pentru măsurători acustice în construcții se folosesc generatoare special construite care emit sunete albe și sunete vobulate.



2.1.1. Relația între elongația punctului material ( $x$ ) și distanța ( $s$ ) pe axa de propagare a oscilației sonore.

O caracteristică de bază a sunetului este viteza sa, notată cu  $C$ , exprimată în cm/s și care caracterizează mișcarea oscilatorie transmisă printr-un mediu.

Considerând expresia elongației „ $x$ ” a mișcării oscilatorii a unui punct material  $M$ , sub forma  $x = a \sin(\omega t + \beta)$  situat pe axa de propagare a oscilației, (fig.134), în care mișcarea propagată cu viteza  $C$ , este în fază cu oscilația din origine, după timpul  $t$ , se poate scrie:  $s = C \cdot t'$  sau  $t' = \frac{s}{C}$



Luând  $\beta = 0$ , elongația punctului  $M$  este:  
 $x = a \sin(\omega t - \omega t')$

(263)

Fig.134. Relația între elongație „ $x$ ” și distanța „ $s$ ” de propagare a mișcării oscilatorii.

Deoarece  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $t' = \frac{s}{C}$ ,  $\lambda = C \cdot T$ , expresia elongației rezultă:

$$x = a \sin \left( \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{s}{C} \right) = a \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot s \right) \quad (264)$$

Făcând notația  $\frac{2\pi}{\lambda} = k$ , se obține:

$$x = a \sin(\omega t - ks) \quad (265)$$

Scriem expresiile derivatelor parțiale de ordinul 1 și 2 în raport cu  $t$  și  $s$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= a\omega \cos(\omega t - ks), \quad \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -a\omega^2 \sin(\omega t - ks) = \\ &= -\omega^2 x \end{aligned} \quad (266)$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} = -a k \cos(\omega t - ks), \quad \frac{\partial^2 x}{\partial s^2} = -a k^2 \sin(\omega t - ks) = -k^2 x$$

Din relațiile de mai sus, rezultă egalitatea expresiilor lui  $x$  :

$$x = -\frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{1}{K} \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial s^2} \text{ și deci } \frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial s^2} \quad (267)$$

Înlocuind expresiile lui  $\omega$  și  $K$  în relațiile de mai sus se obține ecuația elongației cîmpului sonor unidirecțional:

$$c^2 \frac{\partial^2 x}{\partial s^2} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \quad (268)$$

Pe aceeași bază se pot stabili ecuațiile ce caracterizează prestunea  $p$ , viteza  $v$ , accelerația  $\gamma$  a mișcării energiei sonore, care pentru parametrul generic  $q$ , se prezintă sub forma:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 q}{\partial s^2} \quad (269)$$

Pentru cazul general al cîmpului sonor spațial relația ce exprimă legea fenomenului se prezintă sub forma operatorului Laplace astfel:

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \Delta u \quad (270)$$

În care „ $u$ ” este expresia potențială de viteză a energiei sonore.

### 2.1.2. Viteza de propagare a undei longitudinale sonore într-un mediu elastic.

Într-un mediu elastic, fig.13b, se consideră suprafața  $S$ , prin care în timpul  $\Delta t$  se deplasează energia sonoră pe distanța  $\ell$ , cu viteza  $c$ , prin unde longitudinale. Considerînd mișcarea uniformă a energiei sonore, rezultă:



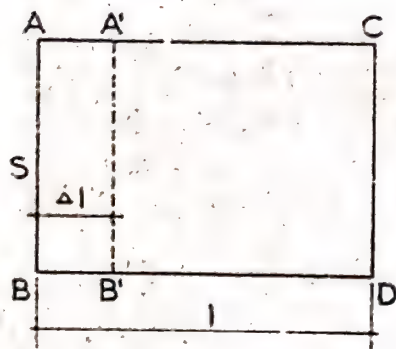


Fig.135. Viteza de propagare a undei sonore longitudinale în mediu elastic.

$$\ell = c \cdot \Delta t \quad (271)$$

Particulele materiale din A, B, se deplasează în același timp cu viteza „u” și ajung în AB. Comprimarea volumului mediului elastic, datorită presiunii sonore, este dată de expresia :

$$\Delta \ell = u \cdot \Delta t \quad (272)$$

Conform legii lui Hooke,

aplicată la medii elastice, forța

este dată de produsul  $F = S \cdot \sigma$

Cunoscând că  $\sigma = E \cdot \epsilon = E \frac{\Delta \ell}{\ell} =$

$$E \frac{u \Delta t}{c \Delta t} = E \cdot \frac{u}{c}, \text{ de unde}$$

$$F = S \cdot E \cdot \frac{u}{c} \quad (273)$$

Expresia forței sonore poate fi scrisă și astfel:

$$F = m \cdot \ddot{x} = m \cdot \frac{u - u_0}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad (274)$$

Deoarece  $m = S \cdot \ell \cdot \rho = S \cdot c \cdot \Delta t \cdot \rho$ , se obține :

$$F = m \frac{\Delta u}{\Delta t} = S \cdot c \cdot \rho \cdot u \quad (275)$$

Dacă egualăm expresiile forțelor sonore se obține:

$$S \cdot E \cdot \frac{u}{c} = S \cdot c \cdot \rho \cdot u \text{ și deci } c^2 = \frac{E}{\rho} \quad (276)$$

### 2.1.3. Caracteristicile de presiune, intensitate și absorbție a sunetelor.

Presiunea sonoră,  $P$ , exercitată de sursa sonoră asupra mediului înconjurător este dată de raportul  $p = \frac{F}{S}$  (6), în care  $F$  este forța exercitată asupra aerului și  $S$ , mărimea suprafeței pe care acționează. Cu cât presiunea este mai mare cu atât amplitudinea oscilației sonore este mai mare și deci sunetul este mai tare.

Presiunea sonoră pe unitate de suprafață este dată de expresia:

$$p = G = E \cdot \varepsilon = F \cdot \frac{u}{c} \quad (277)$$

Considerând  $E = \rho \cdot c^2$ , pentru solide, se obține:

$$p = \rho \cdot c \cdot u; p_{\max} = \rho \cdot c \cdot u_{\max} \quad (278)$$

Unitatea de presiune sonoră, denumită barye, este egală cu  $1 \text{ dyn/cm}^2$  sau  $1 \text{ mg/cm}^2$ . Ca unități de măsură a presiunii sonore se pot folosi:

$$1 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ dyn/cm}^2 = 10^{-5} \text{ bar} \quad \text{sau} \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2;$$

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ dyn/cm}^2$$

De exemplu, șoapta crează în aer la distanța de 1 m o presiune de 0,01 bar, strigătul 10 bar și un motor de aviație 200 bar. Pragul minim al presiunii auditive pentru a avea loc senzația auditivă este  $p_{\min} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$ , iar pragul maxim  $2 \cdot 10^3 \text{ bar}$ .

Tăria sunetului este funcție de nivelul său energetic și poate fi exprimată prin intensitatea sonoră,  $I$ , care definește fluxul de energie sonoră ( $\Phi$ ) se trece într-o secundă printr-o suprafață de  $1 \text{ m}^2$ , perpendiculară pe direcția de propagare a undei sonore ( $I = \frac{\Phi}{S}$ ) (15). Unitatea de intensitate acustică este  $\text{erg/s} \cdot \text{cm}^2$  sau  $\text{watt/m}^2$  ( $1 \text{ w/m}^2 = 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2}$ ).

Fluxul de emisie sonoră este energia sonoră în unitatea de timp  $\Phi = \frac{W}{t}$  și se măsoară în  $\text{erg/s}$ , iar  $W$  energia acustică în  $\text{erg}$ .

Intensitatea sonoră este definită de produsul între energia acustică  $W$  și viteza sunetului:

$$I = W \cdot c = \frac{1}{2} \rho \cdot u_{\max}^2 \cdot c = \frac{1}{2} \rho \cdot u_{\max}^2 \cdot c = \frac{1}{2} \rho \cdot c \cdot \frac{p_{\max}^2}{\rho^2 c^2} = \frac{1}{2} \frac{p_{\max}^2}{\rho c} \quad (279)$$



În cazul unor unde progresive, plane sau sferice, avînd viteza de propagare  $c$ , într-un mediu cu densitatea aparentă  $\rho$ , într-un punct în care presiunea acustică efectivă este  $p_f$ , intensitatea acustică  $I$  este dată cu relația:

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c}, \text{ considerînd } p_{ef} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}} \quad (280)$$

Practic, intensitatea sonoră a unui sunet se exprimă prin raportare la o intensitate de referință. Se folosește astfel nivelul de intensitate sonoră  $L_I$ , ca noțiunea prin care definim intensitatea sonoră  $I$  a unui sunet prin comparație cu intensitatea de referință  $I_{min}$ , exprimîndu-se matematic printr-o relație logaritmică ceea ce reflectă caracteristicile de sensibilitate ale organului auditiv al omului. Ca intensitatea sonoră de referință se consideră pragul inferior al intensității auditive, la frec-

vența de 1000 Hz:

$$I_{min} = 10^{-12} \text{ w/m}^2 = \frac{(2 \cdot 10^{-4})^2}{43} = 10^{-9} \text{ ergi/s.cm}^2 \quad (281)$$

Considerînd că pragul superior al intensității auditive prezintă valoarea:

$$I_{max} = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2}{43} = 10^{-5} \text{ ergi/s.cm}^2, \text{ raportul } \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

rezultă  $\frac{10^{-5}}{10^{-9}} = 10^{14}$ .

Se observă că unitatea de măsură absolută pentru intensitatea sonoră ar rezulta prea mare în domeniul de prestări admisibile pentru urechea omenească adaptîndu-se de aceea o unitate de măsură relativă bazată pe legea lui Weber Fletcher, după care senzația se găsește în raport logaritmice cu excitația. De aici unitatea de măsură logaritmice a nivelului de intensitate sonoră, denumită bel, definită de relația  $L_I = \log \frac{I}{I_{min}}$ , în care  $I$

intensitatea sonoră a sunetului de măsurat. Sunetul imediat superior ce poate fi distins de om, față de  $I_0$ , este  $I_1 = 1,26 I_0$ , cu nivelul sonor  $L_1 = \log 1,26 = 0,1 \text{ B} = 1 \text{ dB}$ .

Folosind ca unitate de măsură decibelul, relația nivelului sonor devine:

$$L_1 = 10 \log \frac{I}{I_{\min}} \quad (282)$$

Pentru diferite valori ale raportului  $\frac{I}{I_{\min}}$  se obține:

$$\frac{I}{I_{\min}} = 1 \quad L_1 = 0$$

$$\frac{I}{I_{\min}} = 10 \quad L_1 = 10 \text{ dB}$$

$$\frac{I}{I_{\min}} = 100 \quad L_1 = 20 \text{ dB}$$

$$\frac{I}{I_{\min}} = 1000 \quad L_1 = 30 \text{ dB}$$

$$\frac{I}{I_{\min}} = 10^{14} \quad L_1 = 140 \text{ dB}$$

Scara de măsurare a nivelului sonor este cuprinsă deci între 0 și 140 dB, ceea ce asigură o ordonare mai bine conturată a zgomotului exterior, în trepte de nivel ce reflectă caracteristicile de sensibilitate auditivă a urechii omenești, ce reacționează exponențial la acțiunile sonore ale mediului înconjurător.

Măsurarea nivelului de intensitate sonoră a unui sunet se face cu decibelmetrul sau voltmetrul electronic, prin transformarea oscilației acustice într-o oscilație electrică.

În mod analog se definește nivelul de presiune sonoră  $L_p$ .



cu ajutorul relației:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (283)$$

în care  $p$  și  $p_0$  sînt presiunea acustică a sunetului considerat și respectiv presiunea sonoră de referință, corespunzător sunetului celui mai slab ce poate fi perceput, în banda de 1000 Hz.

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2 \quad (284)$$

Din cele definite mai sus rezultă că dacă intensitatea sonoră a unui sunet emis de o sursă sonoră crește de 10, 100, 1000, 10000 ori, nivelul de intensitate sonoră crește respectiv cu 10, 20, 30, 40 dB, adică logaritmice. Dacă se suprapun efectele a două surse avînd intensitățile  $I_1$  și  $I_2$ , nivelul de intensitate sonoră resultant nu este suma nivelelor sonore  $L_1$  și  $L_2$ , ci este definit de expresia:

$$L = 10 \cdot \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} \quad (285)$$

La funcționarea în paralel a mai multor surse sonore identice, nivelul resultant al sunetului este prezentat în tabelul 13, notînd  $L'_1$  nivelul de intensitate al sunetului emis de un singur aparat.

În cazul mai multor sunete caracterizate prin presiunile  $p_1, p_2, \dots$ , nivelul de presiune resultant este definit de expresia:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots}{p_0^2} = 20 \cdot \log \sqrt{\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots}{p_0^2}} \quad (286)$$

Înălțimea sunetului reprezintă acea caracteristică a senzației auditive, pe baza căreia sunetele pot fi ordonate în

sunete joase (grave), mijlocii și înalte (ascuțite), în funcție de frecvență.

Tabelul 13

Nivelul de intensitate acustică rezultat  $L_1$

Nr. crt.	Numărul de aparate în serviciu concomitent, buc.	Nivelul de intensitate acustică rezultat, dB
1.	1	$L_1$
2.	2	$L_1' + 3 \text{ dB}$
3.	3	$L_1' + 5 \text{ dB}$
4.	4	$L_1' + 6 \text{ dB}$
5.	5	$L_1' + 7 \text{ dB}$
6.	6	$L_1' + 8 \text{ dB}$
7.	7	$L_1' + 8,5 \text{ dB}$
8.	8	$L_1' + 9,0 \text{ dB}$
9.	9	$L_1' + 9,5 \text{ dB}$
10.	10	$L_1' + 10 \text{ dB}$

Senzația datorită înălțimii sunetului variază aproximativ cu logaritmul frecvenței. Din această cauză s-a adoptat ca scară grafică de reprezentare a înălțimilor sunetelor, logaritmul în baza 2 a raportului frecvențelor (fig. 136). În acest mod intervalul de înălțime între două sunete de frecvențe  $f_1$  și  $f_2$  depinde de raportul  $f_2/f_1$  și nu de diferența  $f_2 - f_1$ .

Sunetele pure, cu frecvențele aflate în același raport, apar situate la interval de înălțime egal.

În natură nu se întâlnesc sunete pure. Practic avem de-a face cu sunete complexe care conțin mai multe sunete pure



sau armonice. Instrumentele muzicale nu dau sunete pure ci sunete compuse.

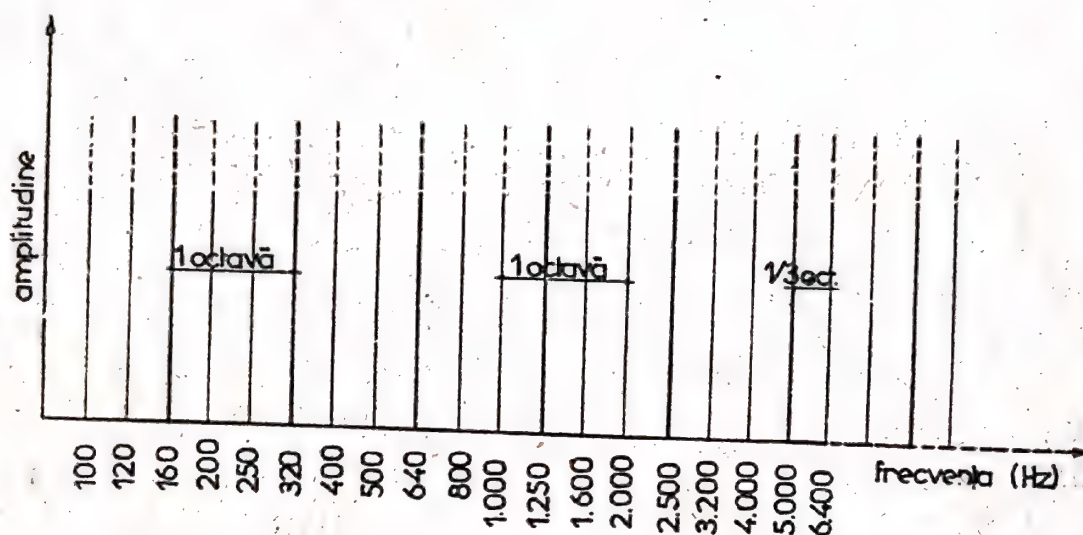


Fig. 136. Scara obișnuită de reprezentare grafică a frecvențelor utilizând ca unitate de măsură intervalul de  $1/3$  octavă

Un ton compus este alcătuit din suprapunerea mai multor tonuri simple care nu sînt în rezonanță, adică nu au aceeași frecvență.

Frecvența de rezonanță  $f_r$ , a unei mase oscilante se calculează cu expresia:

$$f_r = \frac{1}{m \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{m \cdot K}} \quad (287)$$

în care:

- $m$ , masa oscilatorie, în  $g$ ;
- $K$ , constantă elastică, în  $s^2/g$ .

Sunetul musical constă dintr-un sunet fundamental și un număr de armonice. Intervalul fundamental utilizat pentru scara frecvențelor este octava. Numărul de octave  $n$ , care separă două sunete de frecvențe  $f_1$  și  $f_2$  este dat de expresia:

$$n = \log_2 \frac{f_2}{f_1} \quad (288)$$

În mod practic pentru măsurătorile acustice se folosesc intervale de  $1, 1/2, 1/3$  și  $1/4$  octavă. Se observă că pentru

$\frac{f_2}{f_1} = 2$ , intervalul este de o octavă, deoarece  $\log_2 2 = 1$ . Octava se definește deci ca intervalul dintre două frecvențe între care există raportul  $2 : 1$ .

Determinarea armonicilor simple ce intră în compoziția unui sunet complex constituie analiza sunetului sau determinarea spectrului său. Reprezentarea grafică a nivelului intensității sonore a unui sunet compus, în funcție de frecvență definește spectrograma sa (fig.137).

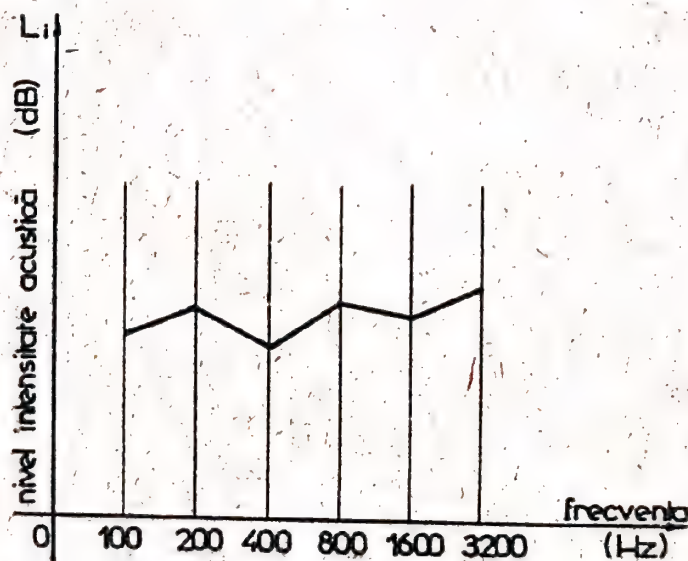


Fig.137. Spectrograma sunetului

Analizată pe un ecran osciloscopie se obține oscilograma sunetului. Pentru analiza componentelor unui sunet se folosesc analizoare de sunet, spectrometre de audio frecvență și filtre de frecvență de  $1/3, 1/2$  sau 1 octavă, fig.138.



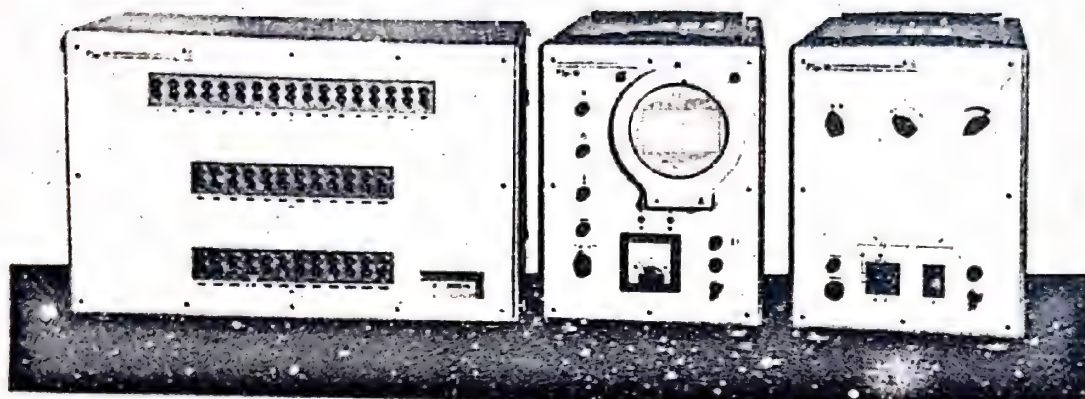


Fig.138. Spectrometru de audio frecvență

În cazul sunetelor neîntreținute, oscilația sonoră se prezintă (fig.139) ca o undă amortizată cu o variație a amplitudinii dependentă de armonicile pe care le conține. Numărul de armonice caracterizează timbrul unui sunet sau al unui instrument.

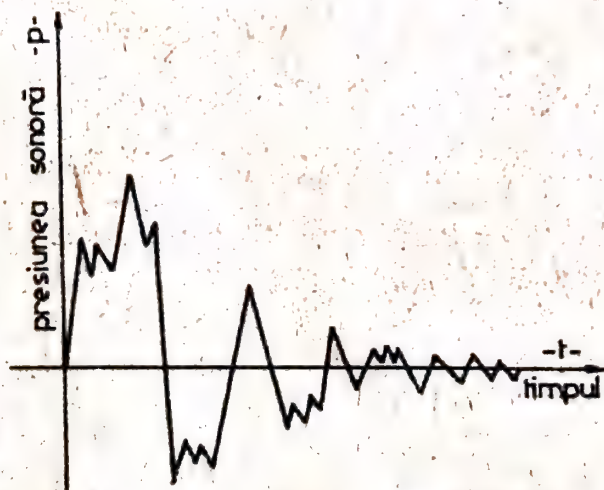


Fig.139. Oscilația acustică amortizată

Ecuația mișcării sinusoidale amortizată a sunetului pur (fig.140) se poate exprima cu relația:

$$p = A \sin \omega t \cdot e^{-\delta t} \quad (289)$$

în care:

-  $\delta$ , modul de amortizare, în  $\frac{1}{s}$

Expresia modulului de amortizare este:

$$\delta = \frac{R}{2m} \quad (290)$$

în care:

- $R$ , rezistența la frecare mecanică;
- $m$ , masa oscilatorie.

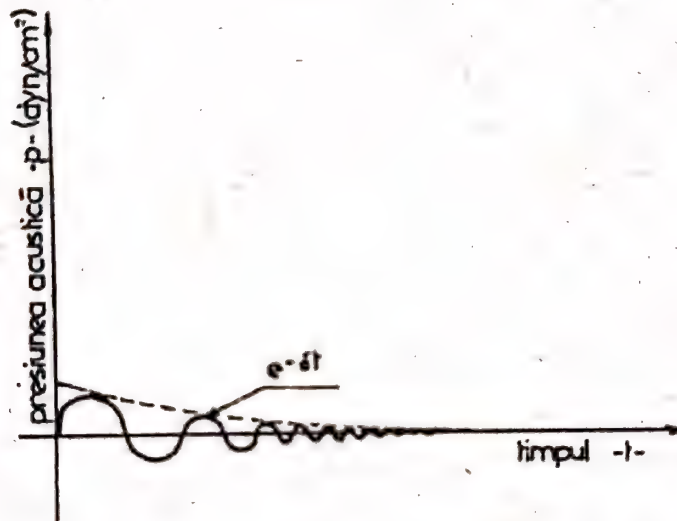


Fig.140. Mișcarea oscilatorie amortizată a sunetului pur.

Nota unui instrument muzical este compusă din aceleași armonice, luate în aceleași proporții.

În problemele din construcții intervine sunetul ca factor nociv (zgomotul). Zgomotul este compus din sunete armonice sau nearmonice, periodice sau neperiodice, a căror frecvență nu urmează o lege riguroasă. Zgomotul este deci o vibrație acustică ce conține componente nedefinite, de amplitudine și intensitate diferită, constituind un sunet supărător.



În problemele de izolare acustică a clădirilor ca și în acustica încăperilor este necesar să cunoaștem compoziția spectrală a zgomotelor și a sunetelor, intensitatea și variația în timp a energiei sonore. În fig. 141 se prezintă scheme ale instalației electroacustice necesară pentru analiza zgomotelor. La analiza zgomotelor efectuată de un spectrometru se obțin nivele aproximative de intensitate, cu aproximații variabile cu frecvența, deoarece benzile de frecvență ale filtrelor au o lățime din ce în ce mai mare spre domeniul sunetelor ascuțite. Pentru a se calcula nivelul real,  $L_{1Hz}$  în dB, corespunzător unei benzi teoretice cu lățimea de 1 Hz, se poate utiliza relația:

$$L_{1Hz} = L_{\Delta F} = \log_{10} (\Delta F) \quad (291)$$

în care:

-  $L_{\Delta F}$ , nivelul de intensitate sonoră indicat de aparat, în dB ;

-  $\Delta F$ , lățimea benzii de analiză a filtrului de frecvență. Dacă o undă sonoră întâlnește un obstacol au loc modificări ale direcției de propagare și a caracteristicilor energetice. Astfel o parte din energia incidentă se reflectă după legi similare undelor luminoase (fig. 142), o parte din energie se propagă mai departe, pe direcția razei refractate, transformându-se parțial în căldură datorită frecărilor interioare dintre particulele de aer și pereții porilor materialelor. Cantitatea de energie neformată în căldură străbate obstacolul și iese pe fața opusă a acestuia sub formă de energie transmisă.

Coefficientul de reflexie sonoră ( $\alpha_r$ ) al unei suprafețe este raportul dintre intensitatea sonoră reflectată ( $I_r$ ) și intensitatea sonoră incidentă ( $I_i$ ), conform relației:

$$\alpha_r = \frac{I_r}{I_i} \quad (292)$$

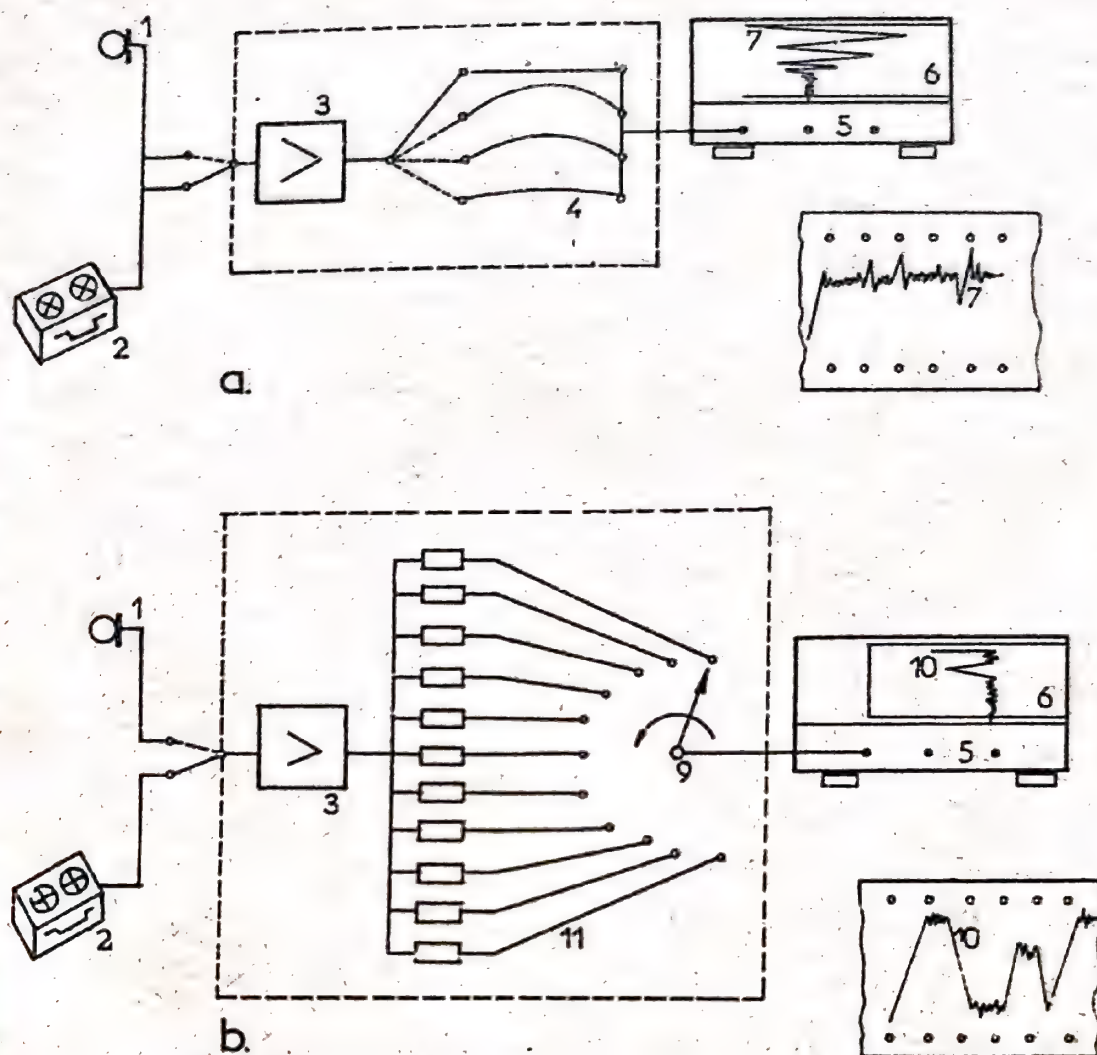


Fig. 141. Scheme pentru măsurarea caracteristicilor zgomotului. a) Inregistrarea variației nivelului de prestune acustică. 1- microfon; 2-magnstofon; 3 -multiplicator; 4-curbe de atenuare; 4, B, C -L, caracteristică liniară; 5-inregistrator rapid de nivel; 6-tambur cu hirtie; 7 -diagrama variației de nivel; 8 - peniță înscriptoare. b) Inregistrarea variației nivelului de prestune în benzi de frecvență 1...8-iden ca la punctul a ; 9-comutatori; 10-diagrama variației de nivel în benzi de frecvență; 11-filtre

Coefficientul de transmisie sonoră  $\alpha_{tr}$  al unui corp, pentru un sunet de frecvență dată, este raportul dintre intensitatea sonoră transmisă ( $I_{tr}$ ) prin corp și intensitatea sonoră in-



cidentă ( $I_i$ ) primită de corpul considerat, exprimat astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{I_{tr}}{I_i} \quad (293)$$

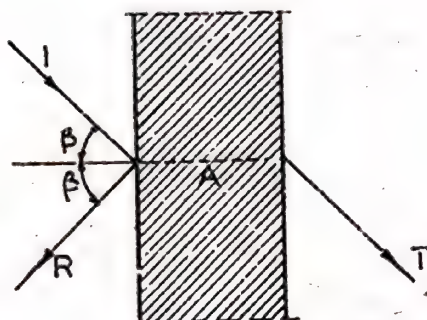


Fig. 142. Reflexia, ab-

sorbția și transmisia sune-  
telor prin elemente de con-  
strucție.

Coefficientul de transmisie  
sonoră  $\alpha_{tr}$  al unui corp, pentru  
un sunet de frecvență dată, este  
raportul dintre intensitatea sono-  
ră transmisă ( $I_{tr}$ ) prin corp și  
intensitatea sonoră incidentă ( $I_i$ )  
primită de corpul considerat, ex-  
primat astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{I_{tr}}{I_i} \quad (294)$$

Coefficientul de absorbție  
sonoră ( $\alpha_a$ ) al unui corp, pentru  
un sunet de frecvență dată, este  
raportul dintre intensitatea sono-  
ră absorbită ( $I_a$ ) de un corp și intensitatea incidentă ( $I_i$ ), con-  
form expresiei:

$$\alpha_a = \frac{I_a}{I_i} \quad (295)$$

Intre coeficienții  $\alpha_r$ ,  $\alpha_{tr}$  și  $\alpha_a$  există relația:

$$1 = \alpha_r + \alpha_{tr} + \alpha_a \quad (296)$$

În elementele curente de construcții, energia sonoră ce  
trece prin obstacol este atenuată de mii de ori, adică  $\alpha_{tr}$  este  
mai mic de 0,001. Coeficienții  $\alpha_r$  și  $\alpha_a$  se exprimă pentru unele  
materiale în zecimi de unități și deci sînt mult mai mari decît  
 $\alpha_{tr}$ . Din această cauză în studiile privind fenomenele de absorb-  
ție și reflexie a sunetelor în interiorul încăperilor se pot ne-  
glijă fracțiunile de energie sonoră care au trecut prin obstacol  
și care s-au pierdut ireversibil în interiorul încăperii, consti-

derivând cu aproximație,  $\alpha_a + \alpha_r = 1$

(297)

Atenuarea energiei sonore datorită elementelor de construcție se poate exprima, în alt mod cu ajutorul expresiei ce ia în considerare energia incidentă și energia reflectată de obstacol:

$$\frac{E_i - E_r}{E_i} = \alpha_a \quad (298)$$

în care  $\alpha_a$  reprezintă coeficientul de absorbție a energiei sonore de către elementul de construcție, definit mai sus.

Dacă materialul absoarbe complet sunetul incident,  $\alpha_a = 1$ .

Determinarea experimentală a coeficientului de absorbție acustică se poate realiza cu ajutorul tubului de absorbție din fig.143.

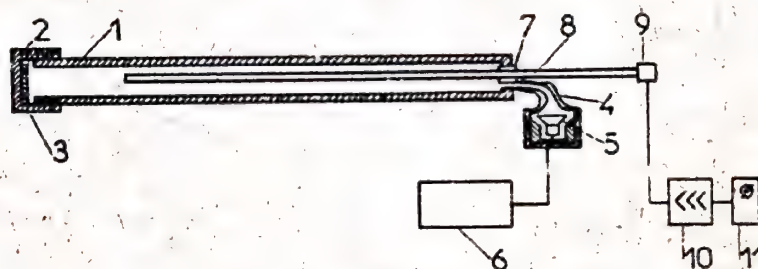


Fig.143. Tub de absorbție pentru determinarea coeficientului de absorbție. 1 - Tub metalic ; 2 - capac ; 3 - materialul de încercat ; 4 - ajutoraj de trecere ; 5 - difuzor ; 6 - generator de audiofrecvențe ; 7 - presetupă ; 8 - tub sondă ; 9 - microfon ; 10 - amplificator ; 11 - voltmetru electronic.

Materialurile poroase au proprietatea de absorbție a sunetului. Astfel pîsla, vata minerală, tencuiala poroasă au coeficientul de absorbție acustică cuprins între 0,2 și 0,8 ceea ce arată că absorb bine sunetele. Materialurile de construcție compacte, cum sînt cărămida, betonul, metalele și lemnul reflectă aproape



complet sunetele, coeficientul de absorbție acustică al acestor materiale este cuprins între 0,02 și 0,08. Capacitatea de absorbție a sunetelor de către materialele poroase depinde de frecvență, așa cum rezultă din datele prezentate în tabelul 14.

Materialele poroase absorb mai puțin sunetele joase decât cele înalte, adică coeficientul de absorbție sonoră crește cu frecvența sunetului. Materialele grele absorb mai bine sunetele joase.

Ca unitate de absorbție acustică (unitate absolută) se consideră capacitatea de absorbție a 1 m<sup>2</sup> de fereastră deschisă, denumită sabine și exprimată în m<sup>2</sup>. În cazul ferestrei deschise

$$E_r = 0 \text{ și deci } \frac{E_i - 0}{E_i} = \alpha_a = 1, \text{ coeficientul de absorbție}$$

acustică este maxim.

Coeficientul de transmisie acustică  $\alpha_{tr}$  se poate exprima și funcție de energia sonoră astfel:

$$\alpha_{tr} = \frac{E_{tr}}{E_i} \quad (299)$$

Se poate defini astfel gradul de reducere sonoră al unui element de construcție pe baza relației:

$$R = 10 \log \frac{I}{\alpha_{tr}} = 10 \log \frac{E_i}{E_{tr}} \quad (300)$$

## 2.2. Sunetul fiziologic.

Sunetul fiziologic caracterizează senzația auditivă și se produce pentru vibrații având frecvența între 16 și 20000 Hz, interval ce definește domeniul de audibilitate, fig. 144, ce cuprinde sunetele pentru care urechea omenească este sensibilă la vibrațiile sonore.

Tabelul 14

Coefficienții de absorbție,  $\alpha_a$ , ai materialelor de  
construcție

M a t e r i a l u l	pentru frecvența, în Hz					
	525	250	500	1000	2000	4000
Lână minerală, 10 cm grosime.....	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Vată de sticlă afînată, 5 cm grosime.....	0,09	0,39	0,61	0,74	0,83	0,87
Pîslă moale, 1-2 cm grosime.....	0,02	0,04	0,10	0,21	0,57	0,92
Covor 5 mm grosime.....	0,04	-	0,5	-	0,12	-
Draperie de catifea (0,6 Kg/mp) montată la 10 cm distanță de perete.....	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35
Parchet esență tare (18 mm) în asfalt.....	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Placaj 3 mm montat la 5 cm distanță de perete.....	0,11	0,21	0,10	0,05	0,03	0,02
Panouri policilindrice din placaj de 6 mm grosime....	0,28	0,26	0,15	0,11	0,09	0,06
Geamuri montate în ferestre	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Beton vopsit în ulei.....	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Tencuială netedă.....	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Tencuială acustică 10 cm grosime.....	-	0,03	0,07	0,11	0,20	0,35
Linoleum 6 mm grosime montat pe beton.....	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Absorbția publicului, 1 persoană pe mp.....	0,17	0,36	0,47	0,52	0,40	0,40
Absorbția unui scaun din placaj.....	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Absorbția unui fotoliu complet capitonat.....	0,11	0,18	0,28	0,35	0,45	0,42



Vibrațiile cu frecvență mai mică de 16 Hz, alcătuiesc domeniul sub limita audibilității și se numesc infrasunete, iar cele cu frecvență mai mare de 20000 Hz, alcătuiesc domeniul peste limita audibilității și se numesc ultrasunete.

Scara înălțimilor sunetelor, care exprimă aspectul fiziologic al frecvenței, permite ordonarea sunetelor în trei categorii:

- sunete grave, cu frecvență 20...200 Hz ;
- sunete medii, cu frecvență 200...2000 Hz ;
- sunete înalte, cu frecvențe 2000, 20.000 Hz.

Pentru ca un sunet să poată fi perceput, să poată produce senzația auditivă, este necesar ca intensitatea sa sonoră să aibă o anumită valoare minimă. Această valoare minimă a intensității sonore depinde de frecvența sunetelor și de sensibilitatea urechii. Conventional, ca limită inferioară a sunetului perceptibil, se ia sunetul cu frecvență 1000 Hz și presiunea sonoră de  $2 \cdot 10^{-4}$  dyn pe  $\text{cm}^2$  sau  $2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>. Această limită inferioară se numește prag de audibilitate, fig.144, caracterizat prin valoarea presiunii acustice minime, pentru o frecvență dată, care produce o senzație auditivă percepută de un ascultător otologic normal. La sunete cu frecvență mai mică de 1000 Hz, pragul de audibilitate crește, adică cu cât sunetul este mai grav, cu atât este necesară o intensitate, respectiv o presiune sonoră mai mare, pentru ca sunetul să poată fi perceput de urechea omenească. Sensibilitatea maximă a urechii corespunde sunetelor cu frecvență între 2000 și 5000 Hz.

Sunetele foarte puternice produc senzația de apăsare asupra timpanului și se transformă în durere. Această situație are loc pentru sunetele a căror presiune este de  $2 \cdot 10^2$  dyn /cm<sup>2</sup> la frecvență de 1000 Hz. Limita superioară a audibilității sunetelor

determină pragul senzației dureroase și se definește prin valoarea presiunii acustice eficace, pentru o frecvență dată care produce unui ascultător otologie normal o senzație de durere.

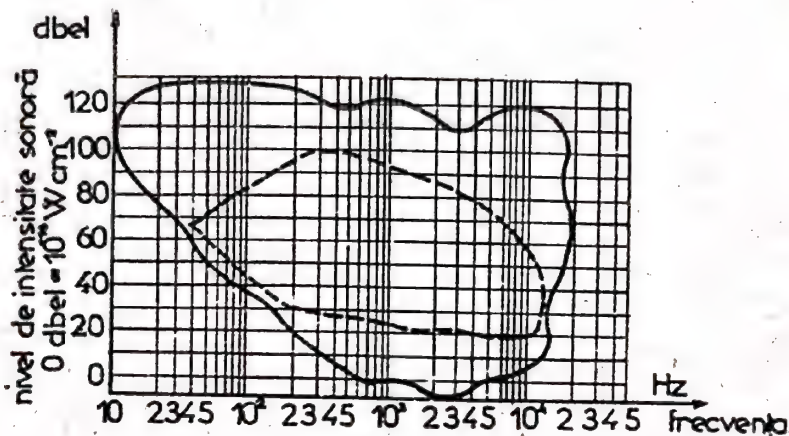


Fig. 144. Domeniul sunetelor audibile

Pragul senzației dureroase variază ca și pragul de audibilitate cu frecvența sunetului. Sensibilitatea urechii omenești variază astfel cu frecvența, în sensul că sensibilitatea este maximă pentru frecvențele apropiate de 1000 Hz. În fig. 145 se prezintă curbele Fletcher - Munson, de egal nivel de tărie sonoră (isonice), perceput de un ascultător cu ureche normală.

Măsurile sonore prin care se exprimă cantitativ senzațiile auditive se numesc mărimi auditive și se referă la:

- intensitatea auditivă ( $I_a$ ), ce caracterizează energetic tăria sunetului perceput de urechea omenească ;

- nivelul de intensitate auditivă ( $L_a$ ), ce este de 10 ori logaritmul în baza 10 al raportului dintre intensitatea auditivă  $I_a$  a unui sunet și intensitatea auditivă de referință  $I_a^0$ , conform expresiei:

$$L_a = 10 \log \frac{I_a}{I_a^0} = 20 \log \frac{p_a}{p_a^0} \quad (301)$$



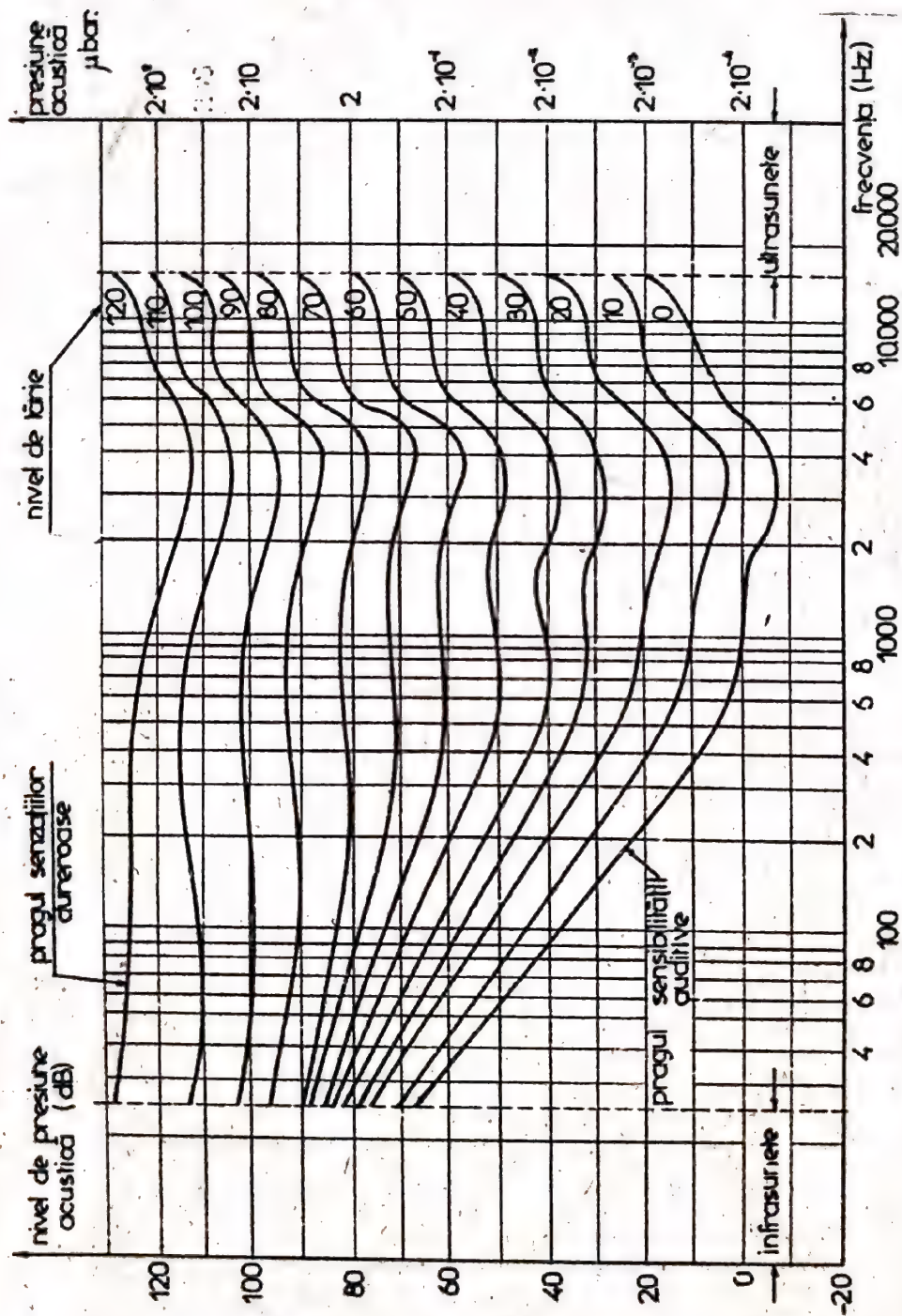


Fig.145. Curbele nivelelor de egal\u0103 t\u00e2rie sonor\u0103 stabilite de Fletcher și Munson

Unitatea de măsură a nivelului de intensitate auditivă este fon-ul. Pentru sunetele cu frecvență de 1000 Hz, valoarea nivelului intensității sonore, exprimată în dB și cea a intensității auditive, exprimată în foni este egală, având același nivel de referință și anume intensitatea sonoră de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup>.

Folosirea unei scări logaritmice în aprecierea intensității auditive a sunetelor se explică prin aceea că intensitatea acustică sau presiunea acustică crește ca numerele 1, 10, 100, 1000, 10000, iar intensitatea fiziologică corespunzătoare crește cu logaritmul intensității acustice, adică cu numerele 0, 1, 2, 3, 4, 5.... Măsurarea nivelului de intensitate auditivă a sunetelor se face cu fonometrul, fig. 146, iar înregistrarea lor cu ajutorul unui hipsograf, fig. 147, sau înregistrator rapid de nivel.

Pentru a se realiza apropierea de caracteristica de sensibilitate a urechii umane, fonometrele sînt dotate cu filtre ponderatoare, definite de curbele A, B, C din fig. 148, utilizate la etalonarea aparatelor și folosite la măsurători pentru sunetele slabe (25....55 dB) după curba A, pentru sunete cu nivel mijlociu de intensitate (55...85 dB), după curba B și pentru domeniul sunetelor foarte puternice (peste 85 dB), după curba C. Unele fonometre noi sînt prevăzute cu filtre liniare în gama de frecvențe audibile.

Conform normelor internaționale, rezultatele măsurătorilor nivelului de intensitate acustică, în dB, sînt însoțite de indicativul A, B, C ( $dB_A$ ,  $dB_B$ ,  $dB_C$ ) conform curbei de etalonare utilizate sau  $dB_L$  în cazul filtrelor liniare.

În practică se consideră acceptabilă aproximația echivalenței pentru întreg domeniu de frecvențe audibile, dintre decibel, unitate de măsură sonoră a sunetului obiectiv și fon, unitate de măsură auditivă a sunetului subiectiv.



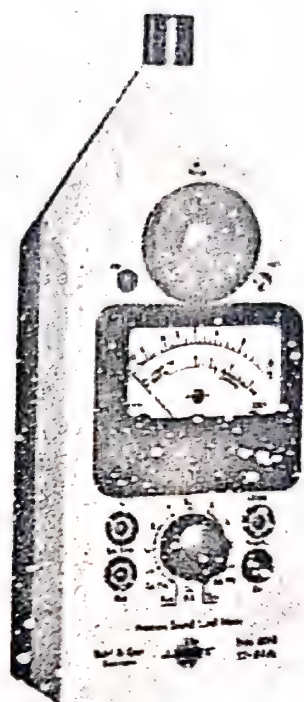


Fig. 146. Fonometrul Brüel și  
Kjær

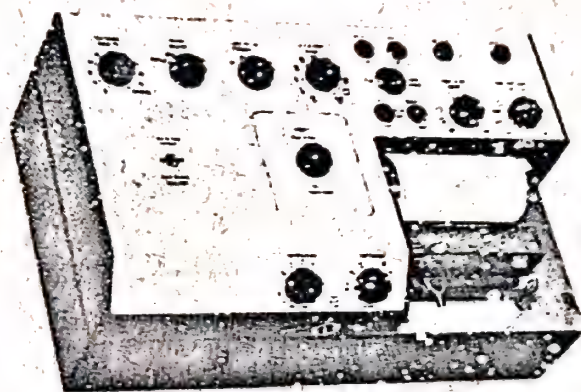


Fig. 147. Inregistrator rapid de  
nivel(hipseograf)

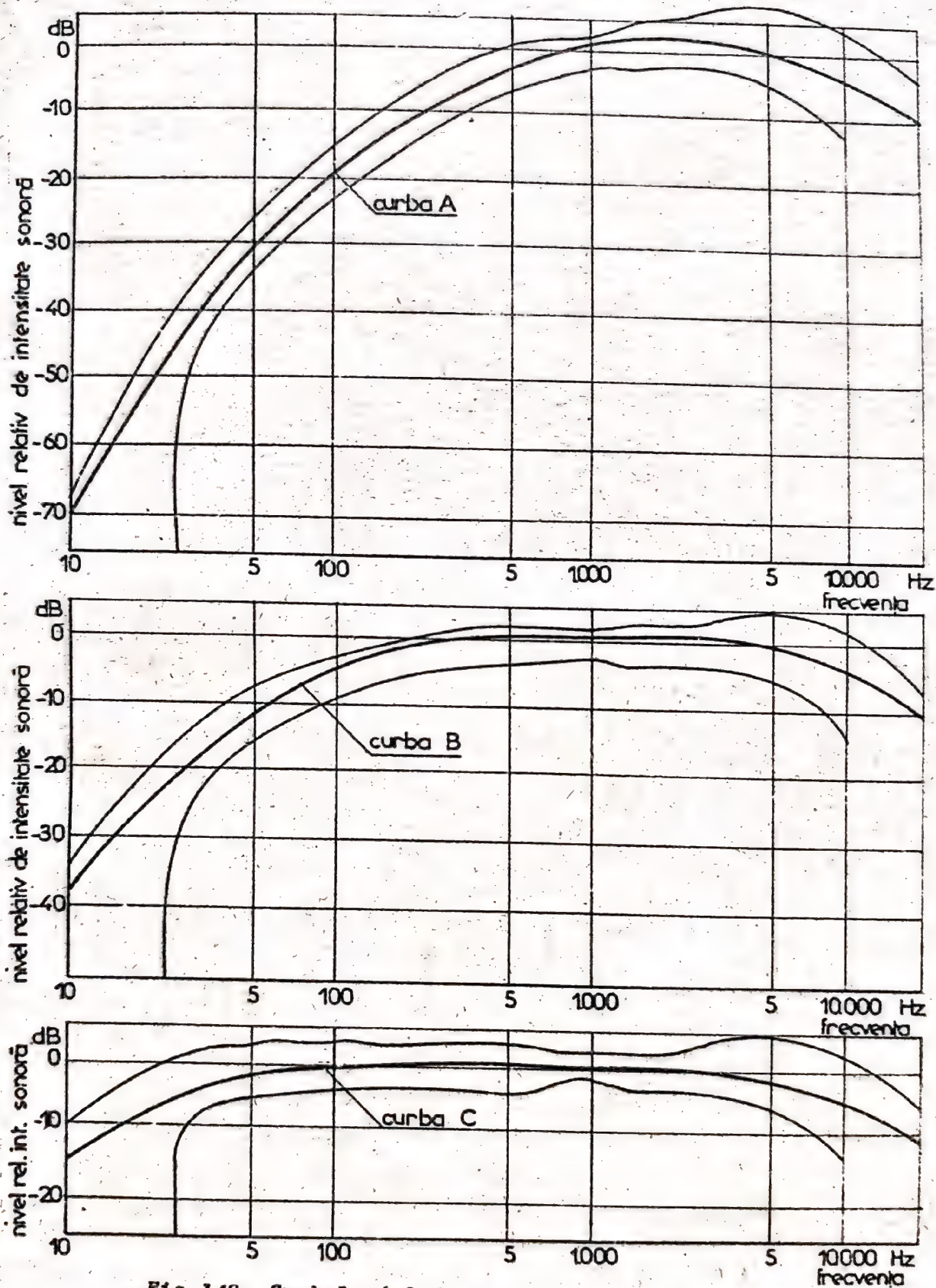


Fig.148. Curbele A,B,C, de etalonare a fonometrelor  
potrivit normelor internaționale



Pentru aprecierea diverselor valori ale tăriei zgomotelor exterioare se prezintă valorile intensităților auditive ce interesează practic:

- pragul senzației dureroase..... 130 foni ;
- motor de avion cu 1600 ture/minut la 5 m distanță...  
.....120 foni ;
- tren expres în viteză mare.....110 foni ;
- motocicletă fără tobă de eșapament.....100 foni ;
- stradă cu circulație intensă, metrou..... 90 foni ;
- birou de copiat acte cu mașina de dactilografiat,  
zgomot de tramvai..... 70 foni ;
- stradă cu circulație mijlocie, cu megafon.. 60 foni ;
- restaurant cu animație mijlocie..... 50 foni ;
- emisiune ușoară, cu muzică, în locuință.... 40 foni ;
- stradă liniștită cu locuințe..... 30 foni ;
- șoaptă la distanța de 1 m..... 20 foni ;
- foșnetul frunzelor..... 10 foni ;
- liniște absolută, pragul senzației auditive 0 foni ;

### 3. Izolarea fonică contra zgomotelor exterioare.

S-a arătat că sunetul care acționează neplăcut asupra sistemului nervos al omului, sub formă de zgomot, implică cunoașterea compoziției sale spectrale și măsuri constructive eficiente pentru limitarea nivelului său.

Măsurile constructive adoptate privind asigurarea confortului acustic și păstrarea nivelului fonic în limite acceptabile din punct de vedere biologic definesc lucrările de izolare fonice.

Zgomotele pătrund din exterior în interiorul clădirii, dintr-o încăpere în alta pe două căi:

- Sub formă de energie sonoră transmisă prin conducție aeriană (zgomote aeriene, fig. 149);

- Sub formă de energie sonoră transmisă prin conducție solidă (zgomote structurale, fig. 150).

Zgomotele se pot clasifica după poziția sursei și după modul de transmitere.

După poziția pe care o ocupă sursa față de încăperi, zgomotele pot fi:

- interioare, când sursa generatoare de zgomot se află în interiorul clădirii;

- exterioare, când sursa generatoare de zgomot se află în exteriorul clădirii.

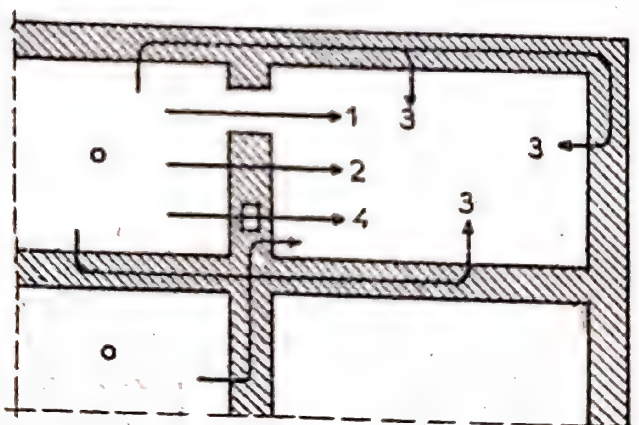


Fig. 149. Transmiterea zgomotului în clădire.

1- Transmiterea prin deschizături (uși și ferestre) ; 2- Transmiterea prin pereți; 3- Transmiterea indirectă ; 4 - Transmiterea prin conducție.

După modul de transmitere, zgomotele pot fi :

- propagate prin aer;

- produse prin șoc (zgomot de impact) ;



- produse de funcționarea utilajelor și instalațiilor.

Pentru a micșora acțiunea zgomotelor asupra încăperilor și a clădirilor în general, cele mai economice măsuri constau în amortizarea la sursă a zgomotelor și prin amplasarea corespunzătoare a zonelor rezidențiale față de sursele de zgomot.

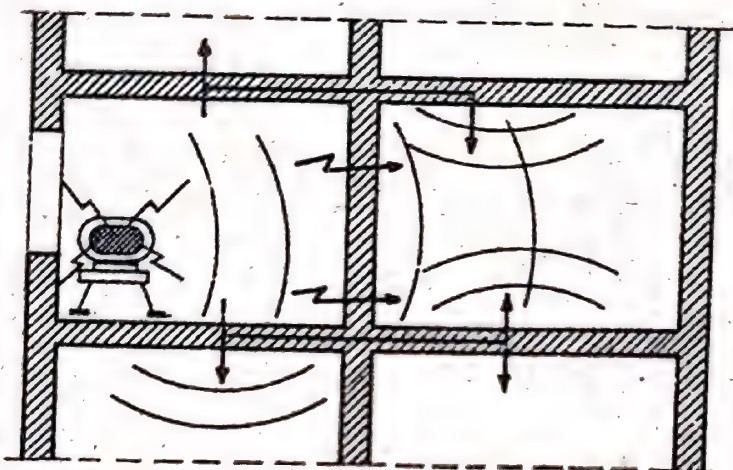


Fig.150. Transmiterea zgomotului aerian în clădiri

Zgomotele exterioare sînt produse de circulația pietonilor și vehiculelor, de funcționarea mecanismelor și instalațiilor. Pentru protecția împotriva zgomotelor exterioare se pot lua măsurile:

- Zonificarea orașelor pe funcțiuni, creîndu-se zonele industrială (zgomotoasă), administrativă, comercială, de locuit;
- Amplasarea zonelor de locuințe retrase față de arterele de circulație intensă;
- Întreținerea drumurilor carosabile;
- Limitarea zgomotelor pe străzi prin legi și regulamente;
- Realizarea de zone verzi între zonele de locuit și zonele zgomotoase.

La fizarea distanțelor între cartierele de locuit și cartierele zgomotoase se are în vedere atenuarea zgomotelor datorită frecărilor în aer. Atenuarea zgomotelor în aer scade cu logaritmul distanței față de sursa de zgomot, conform relației:

$$L_d = L_0 - 20 \log d \quad (302)$$

în care:

- $L_d$ , nivelul zgomotului atenuat, în dB ;
- $L_0$ , nivelul zgomotului la sursă, în dB ;
- $d$ , distanța în metri, la care se consideră atenuarea zgomotului față de sursă.

Intensitatea sonoră la distanța "d" față de sursa de zgomot scade logaritmice, conform relației :

$$I_d = I_0 \cdot e^{-md} \quad (303)$$

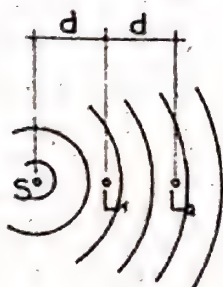
în care:

- $I_d$ , intensitatea zgomotului la distanța "d" de sursa sonoră ;
- $I_0$ , intensitatea zgomotului emis;
- $d$ , distanța de sursă, unde se măsoară intensitatea zgomotului ;
- $m$ , coeficient de absorbție, înregistrat la 1 m distanță de sursa de zgomot ;
- $e$ , baza logaritmului natural.

Practic, intensitatea sonoră a zgomotului scade cu cca. 6 dB la fiecare dublare a distanței,  $L_1 - L_2 = 6$  dB (fig.151).

Dacă între sursele de zgomot exterioare și clădirea considerată sînt prețuiți arbori înalți cu coroană bogată, se poate considera și atenuarea zgomotului datorită absorbției plantărilor, evaluîndu-se la 6...10 dB. Este necesar a se avea în vedere că frecvențele înalte sînt absorbite mai mult decît cele joase.





Pentru protecția acustică a clădirilor se ține seama și de soluția de plan, care trebuie să fie cât mai judicioasă, ceea ce se obține prin amplasarea încăperilor liniștite spre curți interioare și parcuri, prin soluții constructive eficiente fonic, prin măsuri de izolare a instalațiilor din clădiri, prin finisaje adecvate, absorbante acustic.

Fig.151. Scăderea nivelului acustic

cu distanța, în aer liber.

În cadrul măsurilor urbanistice, pentru reducerea și combaterea zgomotului trebuie să se ia în considerare clima, relieful, apele, vegetația, orientarea, amplasarea, distanța între clădiri, caracteristicilor străzilor, regimul de construcție.

Vântul influențează transmisia zgomotului în direcția sa, implicând în calcule un spor de 10...20 dB. Umiditatea mărită a atmosferei micșorează distanța de propagare și atenuează intensitatea zgomotului.

La calculul nivelului zgomotului atenuat ce va lua ca nivel la sursă  $L_0$ ; pentru diverse mijloace de transport, următoarele valori:

- tramvai..... $L_0 = 76...90$  foni ;
- autocamion... $L_0 = 80...98$  foni;
- autobuz ..... $L_0 = 64...79$  foni;
- troleibuz.... $L_0 = 66...76$  foni;
- autoturism... $L_0 = 68...84$  foni;
- motocicletă.. $L_0 = 72...84$  foni

Nivelul mediu sonor obișnuit ce caracterizează o anumită zonă a unui oraș constituie nivelul fonic de fond și are

valoarea de cca 35...50 dB.

Nivelul sonor mediu pe cele mai importante artere de circulație din cuprinsul orașelor, atinge 65...75 dB, iar zgomotul provenit din transportul pe străzi și care pătrunde în camerele clădirilor de locuit atinge în unele cazuri 70...80 dB. Nivelul sonor al zgomotului produs de trenuri poate trece de 100 dB, iar frecvențele lui înalte îl fac extrem de greu de suportat.

Repartizarea energiei sonore depinde de tipul străzilor. La străzi de tip culoar, energia sonoră este reflectată, deci amplificată de clădiri, fig.152.

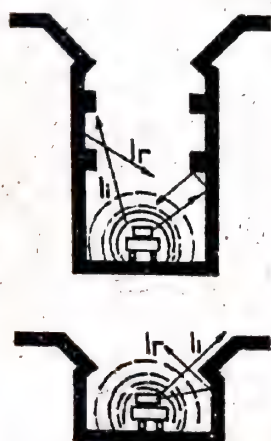


Fig.152. Reflecția undelor sonore de către părțile clădirilor amplasate în străzi de tip coridor.

Intr-un punct A din acest spațiu peste undele incidente de intensitate  $I_i$ , se suprapun undele reflectate de intensitate sonoră  $I_r$ , care determină o creștere a intensității sonore datorită suprapunerii energiei reflectate.

Distribuția zgomotului depinde și de orientarea clădirilor față de zonele de circulație, fig.153, longitudinală sau transversală. Unele clădiri pot asigura rolul de ecran pentru micșorarea transmiterii sonore în cvartalul de locuit, fig.154. În fig.155 se prezintă nivelul de zgomot măsurat într-o stradă din orașul Iași cu circulație de tramvai.

La acțiunea zgomotelor exterioare, protecția acustică a pereților exteriori (fig.156). se consideră asigurată, dacă gradul de izolare  $D_{ef}$  al peretelui exterior este superior valorilor:

- 35 dB în gama 100...500 Hz ;



- 40 dB în gama 500...1500 Hz ;
- 50 dB în gama 1500...3000 Hz.

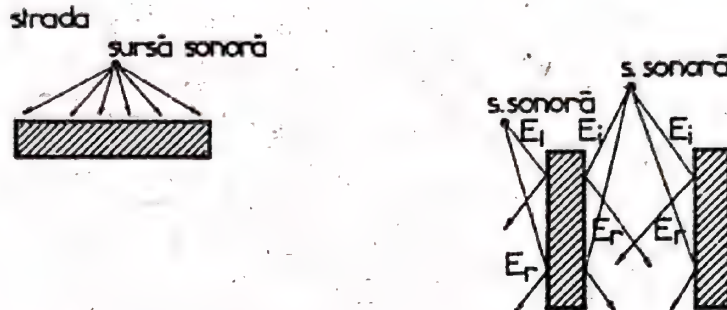


Fig.153. Poziții diferite ale clădirilor de locuit față de sursa sonoră

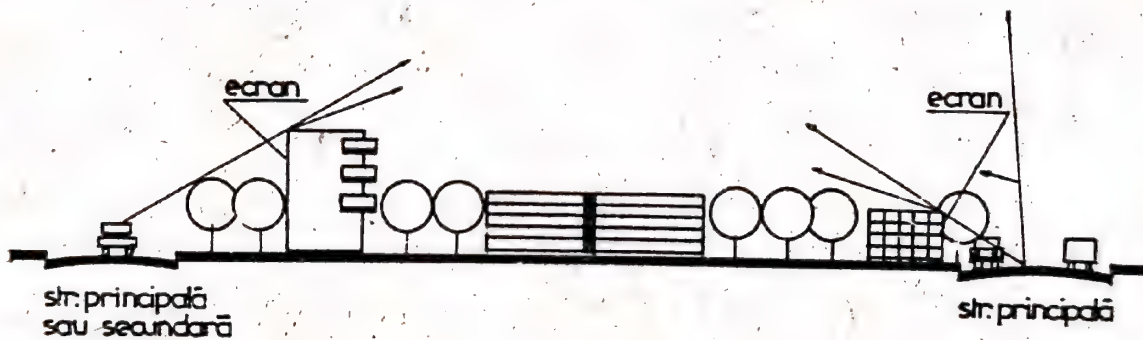


Fig.154. Repartizarea clădirilor ecran în ansamblul de locuințe

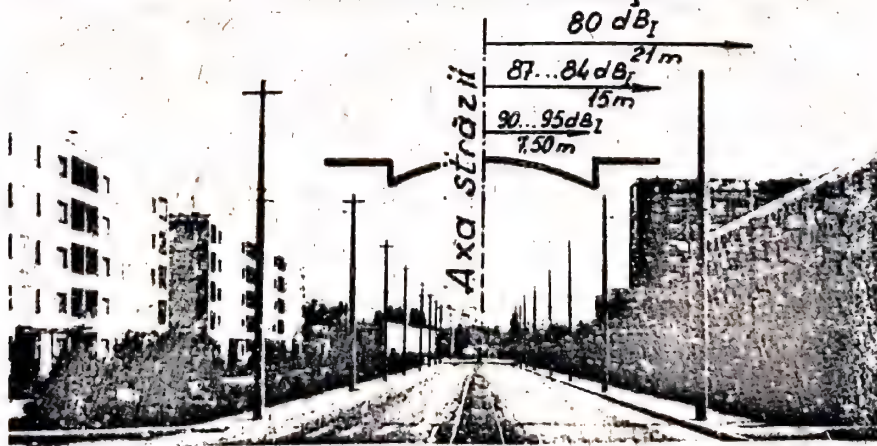


Fig.155. Nivelul de zgomot într-o stradă din orașul Iași

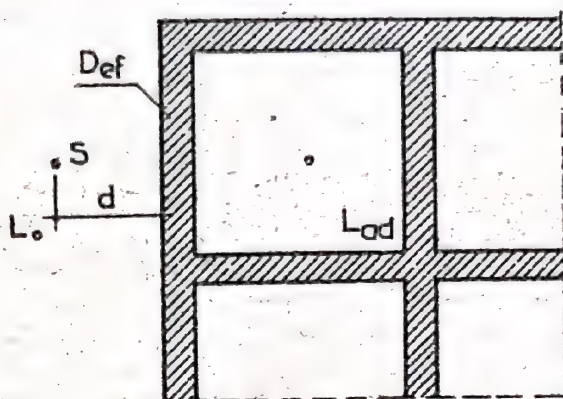


Fig.156. Izolarea pereților exteriori la zgomotul exterior.

#### 4. Izolarea acustică necesară la zgomotul aerian.

Zgomotul aerian poate proveni din exteriorul sau interiorul încăperilor.

Sursele interioare de zgomot pot fi: oamenii, instrumentele muzicale, aparatele de radio, mecanismele diverselor instalații tehnice ale clădirilor în timpul funcționării lor.

Pentru dimensionarea elementelor de construcții, din punct de vedere al izolării fonice, trebuie îndeplinită inegalitatea:

$$D_{ef} \geq D_{nec} \quad (304)$$

în care:

-  $D_{ef}$ , gradul de izolare fonică efectiv al elementului de construcție, în foni sau dB ;

-  $D_{nec}$ , gradul de izolare fonică necesar al elementului de construcție, în foni sau dB ;

Gradul de izolare fonică necesar, la zgomotul aerian, se calculează cu expresia:

$$D_{nec} = L_t - L_{ad} \quad (305)$$

în care:



-  $L_t$ , nivelul teoretic al intensității zgomotului din aer, produs în încăperi de diverse destinații, în fonți;

-  $L_{ad}$ , nivelul admisibil al intensității zgomotului din aer, ce se consideră acceptabil în încăperea, în fonți.

În literatura germană se citează următoarele trepte de intensități admisibile ale zgomotului,  $L_{ad}$ , pe ramuri de activități:

- activități cu concentrație intelectuală.... 50 DIN fonți;
- lucrări de birou și altele asemănătoare.... 70 DIN fonți;
- celelalte lucrări..... 90 DIN fonți;

Normele DIN germane, ONORM austriece și GOST sovietice indică niveluri de intensitate maximă admisibile diferite, în exteriorul clădirilor de locuit, tabelul 15.

Tabelul 15

Nivelul de intensitate sonoră maximă, admisibil, în exteriorul clădirilor

Nr. crt.	Z o n a	Nivelul de intensitate sonoră maxim admisibil $L_{ad}$ , în fonți					
		D I N		O N O R M		G O S T	
		Zi	noapte	zi	noapte	zi	noapte
1	Industrială	65	50	65	55	65	50
2	Rezidențială	60	45	60	50	-	-
3	Mixtă	50	35	50	40	60	45
4	Exclusiv de locuințe	-	-	-	-	50	35

Nivelul teoretic și admisibil al zgomotului din aer la interior sunt prezentate în tabelul nr.16.

Tabelul 16

Nivelul admisibil,  $L_{ad}$ , al zgomotului interior.

Nr. crt.	Denumirea încăperii	$L_t$ font	$L_{ad}$ font	
			la zgomot sursă aerian	
1.	Camerele de locuit într-un apartament	75	35	40
2.	Bucătăria și dependințele sanitare ale apartamentului	80	nu se normează	
3.	Antreu, coridor și degajamente la locuințe, cămine și hoteluri	80	nu se normează	
4.	Camerele de locuit ale căminelor și hotelurilor	75	35	40
5.	Dependințele sanitare ale căminelor și hotelurilor	80	nu se normează	
6.	Casa scărilor fără ascensoare, vesti- bule, garderobe și coridoare comune	80	nu se normează	
7.	Casa scărilor cu ascensoare, încăperile mașinilor de ascensor și camerele de ventilație	85	nu se normează	
8.	Sălile comune ale grădinițelor de copii și creșe	64	40	40
9.	Săli de lectură, cele pentru fișier sau eliberarea cărților	70	35	40
10.	Camerele pentru birouri și încăperi cu caracter administrativ	80	40	40
11.	Sălile de spectacol ale teatrelor și cinematografulor	95	45	45
12.	Încăperile din partea de recepție a teatrelor și cinematografulor	85	45	45
13.	Magazine și restaurante	85	50	50



Continuarea tabelului 16

Nr. crt.	Denumirea încăperii	$L_t$	$L_{ad}$ , f o n t	
		foni	la zgomot aerian	șoc
14.	Săli de curs pentru școli	75	40	40
15.	Camere de bolnavi din complexe spitalicești	60	35	35
16.	Încăperile auxiliare ale clădirilor și încăperilor gospodărești	85	nu se normează	

În fig.157 se prezintă după ISO familia de curbe limită privind criteriile teoretice de zgomot. Limita zgomotului admisibil în încăperi este de 85 dB. Criteriul efectiv al zgomotului corespunde curbei de valoare maximă intersectată de diagrama zgomotului analizat. De exemplu curba  $C_{50}$ , în cazul curbei a din fig.157.

Nivelul admisibil al zgomotului interior pentru diverse categorii de clădiri este:

Saloane de spital (noultea).....	25 DIN foni ;
Saloane de spital (ziua).....	30 - 40 DIN foni;
Școli.....	30-40 DIN foni;
Azile de bătrâni.....	25-35 DIN foni;
Clădiri de locuit.....	45 dB <sub>A</sub> .

Izolarea fonică între două apartamente se consideră asigurată dacă indicele de izolare fonică al peretelui despărțitor,  $D_{ef}$ , măsurat pentru un număr suficient de frecvențe, prezintă valorile:

- 35 dB în gama 100..... 500 Hz ;
- 45 dB în gama 500.....1500 Hz ;
- 55 dB în gama 1500..... 3200 Hz ;

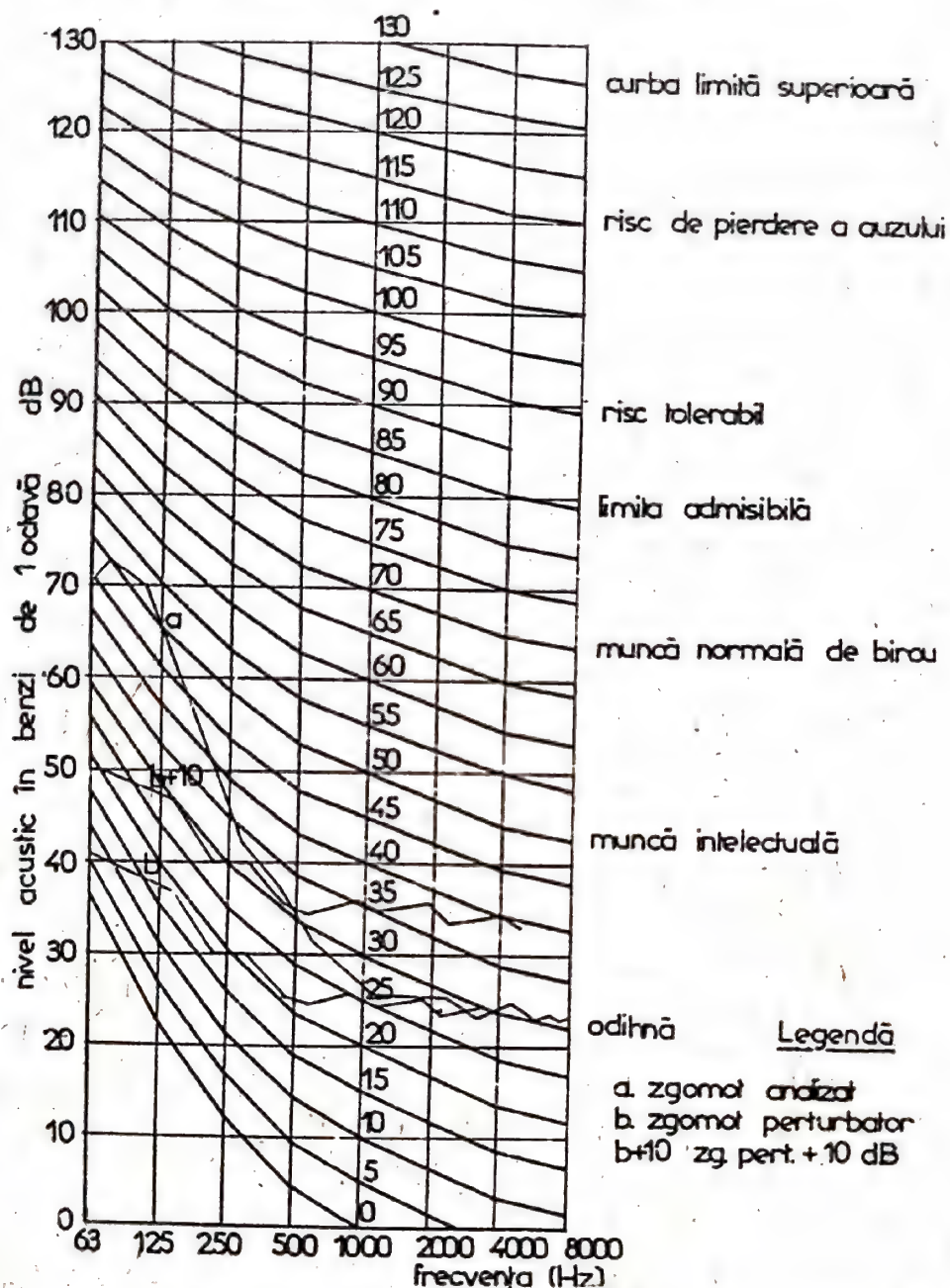


Fig.157. Familia de curbe limită privind criteriile de zgomot conform normelor internaționale

Pentru perețele despărțitor între două încăperi ale aceluiași apartament, indicele necesar de izolare fonică  $D_{nec}$ , trebuie să prezinte următoarele valori minime:



- 25 dB în gama 100..... 500 Hz ;
- 30 dB în gama 500.....1500 Hz ;
- 35 dB în gama 1500.....3200 Hz ;

În cazul cînd indicele necesar de izolare fonică la agomotul aerian, calculat pe baza datelor de mai sus rezultă mai mare de 48 dB se admite a se ține seama și de influența absorbției sunetului din încăperea considerată.

Capacitatea de izolare fonică a ușilor nu poate fi mai mică decît cu maximum 20 dB față de capacitatea de izolare fonică a pereților în care acestea sînt montate.

Absorbția sunetului în încăpere se calculează cu expresia:

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i \quad (306)$$

în care:

- $A$ , absorbția totală a încăperii, în  $m^2$  ;
- $\alpha_i$ , coeficient de absorbție al materialului sau al obiectului din încăpere, variabil cu frecvența și avînd valorile prezentate în tabelul 14.
- $S_i$ , suprafața elementului din material cu coeficient de absorbție  $\alpha_i$ , în  $m^2$ .

Deoarece suprafețele  $S_i$  ce delimitează încăperile prezintă coeficienți de absorbție  $\alpha_i$  diferiți, se poate vorbi despre coeficientul mediu de absorbție acustică  $\alpha_{med}$ , definit de expresia :

$$\alpha_{med} = \frac{\sum \alpha_i \cdot S_i}{\sum S_i} \quad (307)$$

Determinarea micșorării nivelului de intensitate sonoră a unui sunet,  $\Delta L_1$ , emis într-o încăpere cu absorbția acustică  $\alpha_1$ , după introducerea materialelor absorbante, se estimează cu relația:

$$\Delta L_1 = 10 \cdot \log \frac{A_2}{A_1} \quad (308)$$

- $A_1$ , absorbția totală acustică inițială, în  $m^2$ ;
- $A_2$ , absorbția totală după introducerea materialelor absorbante, în  $m^2$ .

Absorbția acustică într-o încăpere, datorită aerului, se poate estima aproximativ cu relația:

$$A \approx 0,35 \cdot \sqrt[3]{V^2} \quad (309)$$

în care:

- $V$ , volumul încăperii, în  $m^3$ .

5. Atenuarea zgomotului aerian prin pereți și planșee pe baza teoriei ecranelor.

Perețile sau planșeele pot fi considerate la acțiunea zgomotului aerian, ecrane simple, fig. 158 ce separă încăperile între ele sau de mediul înconjurător, pe verticală sau orizontală.

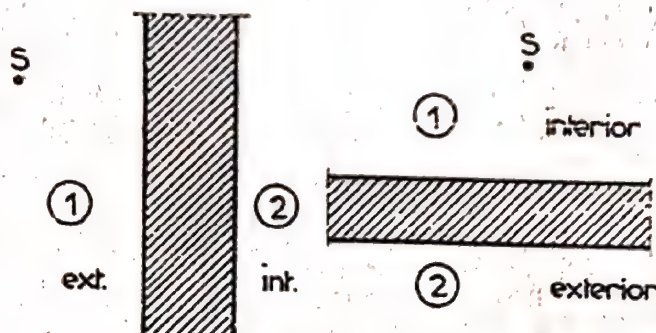


Fig. 158. Perețele și planșeele, ecrane între două medii.

Într-o primă aproximație, gradul de atenuare acustică al unui element de construcție la zgomotul aerian, poate fi calculat cu expresia:

$$D = 10 \log \frac{1}{\epsilon} = 10 \log \frac{E_1}{E_{tr}} \quad (310)$$



Folosirea relației (306) conduce la valori foarte mari ale atenuării acustice, ceea ce nu reflectă caracteristicile reale ale elementelor de construcție în ce privește capacitatea lor de amortizare a oscilațiilor sonore.

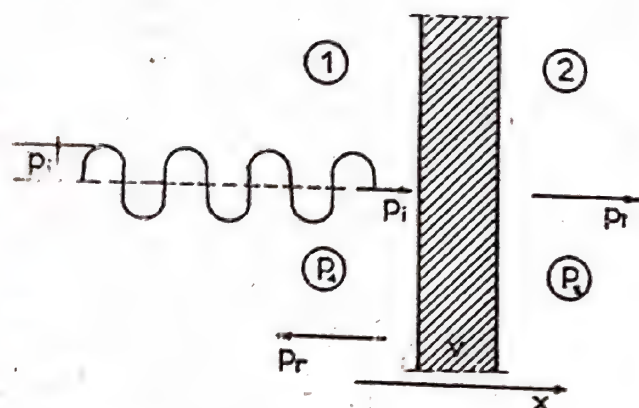


Fig.159. Ipoteza elementului de construcție considerat piston sub acțiunea vibrației aerului.

Într-o ipoteză mai cuprinsătoare se consideră peretele piston care vibrează sub acțiunea presiunii acustice a aerului din încăpere, fig.159. Considerăm presiunea acustică incidentă  $p_i$ , având variație sinusoidală, ce produce vibrații elementului de construcție. În încăperea 1 unde acționează sursa sonoră având presiunea incidentă  $p_i$ , se

suprapune presiunea reflectată  $p_r$ , astfel încât în încăpere acționează presiunea rezultantă  $p = p_i + p_r$ .

În încăperea 2 învecinată, acționează presiunea transmisă  $p_2 = p_t$ . Deoarece vitezele aerului în încăperile 1 și 2 în vecinătatea elementului de construcție sînt aceleași, în ipoteza că peretele se consideră piston ce vibrează, fără legături pe contur cu celelalte elemente de construcție, se poate scrie ecuația mișcării, în direcția spațiului  $x$ :

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 - F_2 \quad (311)$$

$M$ , fiind masa totală a ecranului, iar  $F_1$  și  $F_2$  sînt forțele totale ce acționează în încăperile 1 și 2.

Dacă se împarte "  $H$  ", la suprafața "  $S$  " a ecranului, se obține ecuația diferențială a mișcării:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = p_1 - p_2 \quad (312)$$

Să considerăm expresia presiunii  $p_1$  din încăperea 1 și viteza  $v$  a ecranului :

$$p_1 = p_i + p_r \quad v = v_i - v_r \quad (313)$$

Întrucât termenii din expresia vitezei cu  $\varphi_0 c$  se obțin:

$$\varphi_0 \cdot c \cdot v = \varphi_0 \cdot c \cdot v_i - \varphi_0 \cdot c \cdot v_r \quad (314)$$

Relația (314) se poate scrie:

$$\varphi_0 \cdot c \cdot v = p_i - p_r \quad (315)$$

Adunând relațiile 313 și 314, rezultă:

$$p_1 = 2p_i - \varphi_0 c v \quad (316)$$

Reluând, expresia mișcării se obține :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = p_1 - p_2 = 2p_i - \varphi_0 c v - \varphi_0 c v \quad (317)$$

deoarece  $p_2 = \varphi_0 c \cdot v$

În final rezultă:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 2 ( p_i - \varphi_0 c v ) \quad (318)$$

Cunoscând că viteza mișcării este  $v = \frac{dx}{dt}$ , în cazul mișcării periodice, sub formă armonică, complexă, viteză se poate exprima astfel:

$$v = e^{j\omega t}, \text{ în care } j = \sqrt{-1} \quad (319)$$

$$\text{iar } \frac{dv}{dt} = j\omega e^{j\omega t} = j\omega v \quad (320)$$



Ecuatia mișcării se poate pune sub forma :

$$J\omega v m = p_1 - p_2 = 2 ( p_1 - \rho_0 c v ) \quad (321)$$

de unde :

$$2 p_1 = \rho_0 c v + \frac{J\omega m v}{2} \quad (322)$$

Expresia coeficientului de reducere sonoră se poate

scrie :

$$D = 10 \log \frac{1}{\epsilon} = 10 \log \frac{p_1}{p_2} = 10 \log \left[ \frac{\rho_0 c v + \frac{J\omega m v}{2}}{\rho_0 c v} \right] =$$

$$= 10 \log \left[ 1 + \frac{J\omega m}{2\rho_0 c} \right]^2 = 20 \log \frac{\omega m}{2\rho_0 c} \quad (323)$$

Deoarece  $\omega = 2\pi f$ , gradul de atenuare fonică a peretelui la zgomotul aerian rezultă :

$$D = 20 \log \frac{2\pi f m}{2\rho_0 c} = 20 \log \frac{\pi f m}{\rho_0 c} \quad (324)$$

Se constată că gradul de atenuare acustică al elementului de construcție depinde de frecvență și masa elementului de construcție.

Această relație este cunoscută sub denumirea de legea masei care exprimă că gradul de izolare acustică a elementului de construcție, la zgomotul aerian variază exponențial cu masa, adică cu 4 dB la fiecare dublare a masei sau a frecvenței.

Măsurătorile experimentale ale gradului de izolare acustică a pereților prezintă valori mai mici în comparație cu valorile calculate.

În literatură sînt prezentate numeroase relații care exprimă legătura experimentală între gradul de izolare acustică a elementului de construcție la zgomotul aerian și greutatea pe  $m^2$ .

6. Atenuarea acustică a elementelor de construcție luând în considerare legăturile pe contur.

Ipoteza pistonului rigid nu corespunde comportării reale a elementului de construcție sub acțiunea oscilațiilor sonore. Deoarece încadrarea elastică pe contur, aceasta echivalează cu o reducere a masei elementului, cu un coeficient "a", astfel încât masa redusă a acestuia "m'" este:

$$m' = a \cdot m \quad (325)$$

Luând în considerare o variație a masei, m' între 2 și 453 kg/m<sup>2</sup>, s-a obținut o variație a coeficientului "a", cuprinsă între 0,2 și 0,13, independent de frecvență, ceea ce permite să scriem expresia gradului de izolare acustică a peretelui, luând în considerare comportarea ca o membrană rezemată elastic pe contur, sub forma :

$$D = 20 \log \frac{\omega m a}{2 \rho c} - 6 \quad (326)$$

Încadrarea pe contur a elementului de construcție poate aduce o creștere suplimentară a atenuării acustice, de ordinul 15 dB, ceea ce este esențial în ce privește confortul acustic.

Un aport deosebit îl aduce Grauer, prin teoria efectului de coincidență. În opoziție cu ipoteza pistonului rigid se consideră că elementul de construcție are o anumită elasticitate, care poate provoca o rezonanță și deci o scădere a atenuării acustice în zona frecvențelor proprii. Se face de asemenea observația că undele ce cad oblic pe suprafața peretelui și ies tot oblic cu o atenuare care variază cu unghiul de incidență. O fișie din perete, sub acțiunea undelor incidente oblice, poate fi asimilată cu o ecardă foarte groasă, supuse unor oscilații de flexiune, care prezintă următoarea ecuație a mișcării libere :

$$B \frac{d^2 y}{dx^2} = m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (327)$$



în care:

- $x$ , abscisa în lungul corzii ;
- $y$ , ordonata normală pe perete, în punctul considerat
- origine;
- $B$ , rigiditatea la încovoiere, ce poate fi exprimată prin relația:

$$B = \frac{E \cdot I}{1 - \sigma^2} \quad (328)$$

Mărimea frecvenței de coincidență a elementului de construcție se poate calcula cu expresia:

$$f_{rez} = \frac{c^2}{2\pi \sin \theta} \sqrt{\frac{B}{EI}} \quad (329)$$

în care  $\theta$  este unghiul de incidență oblică a undelor sonore.

În funcție de grosimea,  $d$ , a peretelui, frecvența de rezonanță a peretelui, se poate calcula cu formula:

$$f_{rez} = \frac{c^2}{2\pi \cdot \sin^2 \theta \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot 1,2(1 - \nu^2)}{E}} \quad (330)$$

Fenomenul de coincidență trebuie evitat prin aceea ca frecvența proprie să fie în afara gamei audibile. Astfel pentru pereți de masă mare este necesar ca  $f_{rez} < 100$  Hz, iar pentru pereți elastici  $f_{rez} > 3200$  Hz.

La ecrane duble (pereți cu strat de aer), există o frecvență de rezonanță a ansamblului  $f$ , și frecvențele de rezonanță  $f_1$  și  $f_2$  ale ecranului dublu, fig.160.

Frecvența de rezonanță a ansamblului se poate estima pe baza expresiei, fig.161 :

$$f_{rez} = \frac{c_0 \cdot c}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1 + m_2 + m_0}{m_1 \cdot m_2 \cdot m_0}} \leq 75 \text{ Hz} \quad (331)$$

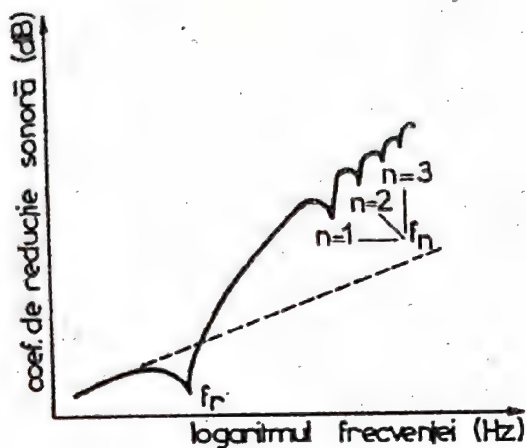


Fig. 160. Variația cu frecvența a reducerii sonore la un perete dublu pentru o incidență normală a sunetului.

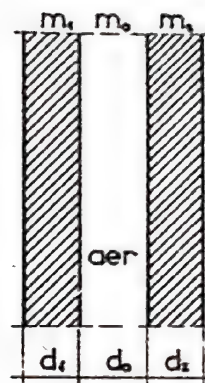


Fig. 161. Elementele de calcul ale ecranului dublu.

în care  $m_0 = \rho_0 \cdot d_0$  ( aer ).

Pentru a obține o eficiență sporită a izolației fonice cu ecrane duble sînt de îndeplinit condițiile:

- Între elementele peretelui dublu să nu existe legături rigide, astfel ca fiecare să vibreze separat;
- Legăturile între pereți și structura de rezistență a clădirii să fie elastice.

#### 7. Calculul simplificat și determinarea gradului de izolare fonică efectivă, $D_{ef}$ , la zgomotul aerian.

Gradul de izolare fonică efectivă,  $D_{ef}$ , a unui element de construcție se poate calcula cu ajutorul unor relații empirice, sau se poate determina prin măsurători pe elemente experimentale, în laborator sau pe cale experimentală, direct în clădiri în func-



fiune.

Prin calcul, gradul mediu efectiv de izolare fonică al pereților și planșeelor, se poate estima cu relațiile de mai jos, în funcție de greutatea pe  $m^2$  a elementului de construcție :

- Pentru pereți cu greutatea  $q \leq 200 \text{ Kg/m}^2$

$$D_{ef} = 13,5 \log q + 13 \quad (332)$$

în care :

- $q$ , greutatea elementului de construcție, în  $\text{Kg/m}^2$  ;
- pentru pereți cu greutatea  $q > 200 \text{ Kg/m}^2$  .

$$D_{ef} = 23 \log q - 9 ; D_{ef} = 18 \log q + 8 \text{ sau } D_{ef} = 20 \log q \quad (333)$$

La pereți alcătuiți din două sau mai multe straturi (fig.162), separate cu lamele de aer, gradul efectiv de izolare fonică depinde de transmisia acustică pe cale directă, indirectă și prin rigidizări<sup>81</sup> se calculează cu relațiile :

- Pentru pereți cu greutatea  $q_1 \leq 200 \text{ /m}^2$

$$D_{ef} = 13,5 \log (q_1 + q_2) + 13 + \Delta D \quad (334)$$

- Pentru pereți cu greutatea  $q_1 > 200 \text{ Kg/m}^2$

$$D_{ef} = 23 \log (q_1 + q_2) - 9 + \Delta D \quad (335)$$

în care:

- $q_1$  și  $q_2$ , greutățile straturilor peretelui, în  $\text{Kg/m}^2$  ;
- $\Delta D$ , aportul de izolare fonică a stratului de aer în

funcție de grosime, conform datelor din diagrama Dürganner - Kammerer ( fig.163).

Pentru evitarea fenomenelor de rezonanță grosimea stratului de aer la o structură de perete cu 2 straturi, de masă egală, se va lua  $d_{aer} = \frac{1,0}{q} \text{ ( în m )}$  și la structuri din 2 straturi de masă diferită,  $d_{aer} = \frac{0,5}{q_1} \text{ ( m )}$

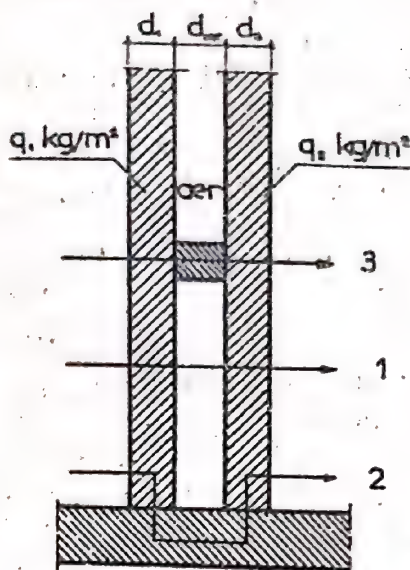


Fig.162. Gradul de izolare fonică la pereți cu strat de aer: 1, 2, 3 căile de transmisie a zgomotului (direct, prin îmbinare, prin legături)

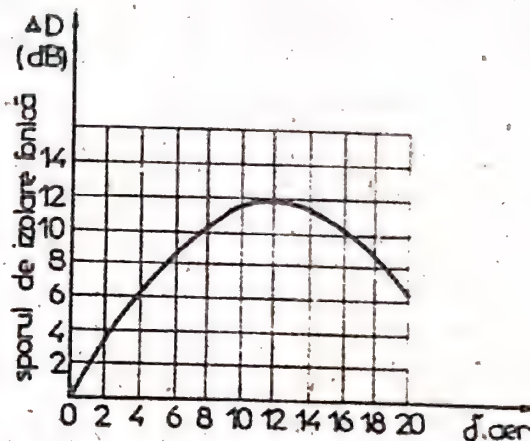


Fig.163. Izolarea fonică a stratului de aer.

Izolarea fonică efectivă a unui perete poate fi estimată și pe baza legii experimentale a masei, relație simplă între indicii de izolare fonică a unui perete simplu și masa sa.

Se pleacă de la un perete cu masa  $100 \text{ Kg/m}^2$  și se reține că el are o capacitate acustică medie de 40 dB, la frecvența de 500 Hz. Dublind masa și plecând de la orice valoare, gradul de izolare fonică crește cu 4 dB. De exemplu, un perete cu  $q = 400 \text{ Kg/m}^2$ , prezintă indicii de izolare fonică.  $D_{ef} = 40 + 2 \cdot 4 = 48 \text{ dB}$ , iar un perete cu  $q = 200 \text{ Kg/m}^2$ ,  $D_{ef} = 48 \text{ dB} - 4 \text{ dB} = 44 \text{ dB}$ .

Pentru evaluarea gradului real de izolare fonică trebuie să se ia în considerare și absorbția sonoră din camera de recepție.



În acest caz gradul efectiv de izolare fonică rezultă:

$$D'_{ef} = D_{ef} + 10 \log \frac{A}{S} \quad (336)$$

în care:

- $D'_{ef}$ , gradul de izolare fonică, real, în dB ;
- $D_{ef}$ , gradul de izolare fonică, fără influența absorbției acustice, în dB ;
- $A$ , absorbția acustică totală a încăperii, în  $m^2$  ;
- $S$ , suprafața elementului de construcție pentru care se determină gradul de izolare fonică, în  $m^2$ .

Valorile indicilor de izolare fonică, determinați cu relațiile de mai sus, se consideră valori medii pentru frecvența de 500 Hz, care este media geometrică a frecvențelor 50 Hz și 5000 Hz.

Gradul de izolare fonică efectiv, în funcție și de frecvență, se poate calcula cu expresia:

$$D_{ef} = 18 \log q + 12 \log f - 25 \quad (337)$$

Frecvența de rezonanță (coincidență) a unui element de construcție, de grosime  $d$ , în cm, se poate calcula cu expresia:

$$f = \frac{20.000}{d} \sqrt{\frac{q}{E}} \quad (338)$$

în care  $q$  și  $E$  reprezintă greutatea volumetrică aparentă în  $Kg/m^3$  și  $E$ , modulul de deformare al materialului în  $Kg/cm^2$ .

La pereți cu lamelă de aer se va calcula frecvența de rezonanță a peretelui dublu cu relația :

$$f_{rez} = \frac{120}{\sqrt{q d_{aer}}} \quad (339)$$

în care:

- $q$ , masa totală a peretelui despărțitor din 2 straturi egale, în  $Kg/m^2$  ;
- $d_{aer}$ , grosimea lamelei de aer, în m ;

În cazul straturilor de greutate diferite se va folosi relația:

$$f = 50 \sqrt{\frac{E}{d_{\text{aer}} \left( \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} \right)}} \quad (340)$$

în care:

-  $E$ , modulul de elasticitate dinamic al aerului, egal cu  $1,45 \text{ Kg/cm}^2$ .

Eficiența izolării fonice a elementului de construcție compus este asigurată pentru valori superioare frecvenței limită, definită de relația:

$$f_{\text{lim}} = \sqrt{2} f_{\text{rez}} \quad (341)$$

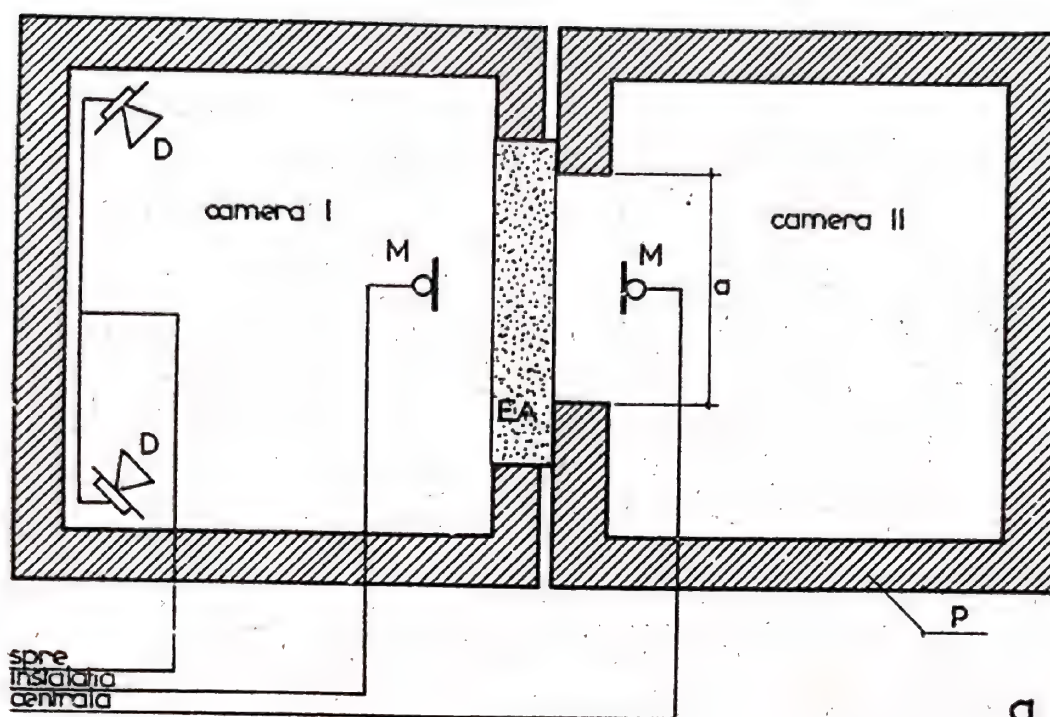
Determinarea pe cale experimentală a gradului de izolare fonică se bazează pe emisia sunetelor în domeniul de frecvențe  $100 - 3200 \text{ Hz}$ , cu nivel de intensitate sonoră superior nivelului zgomotului atenuat în camera de recepție. Măsurătorile se pot efectua în camere laborator pe elemente (fig.164) sau la clădiri în exploatare.

În fig.165, se prezintă schema instalației de emisie a zgomotului alcătuită din generator de ton, amplificator, difuzor și microfon și schema instalației de recepție alcătuită din microfon, amplificator, filtru și fonometru. Prin comutarea instalației de măsurare cu camera de emisie și recepție se măsoară nivelele de intensitate  $L_1$  și  $L_2$  în cele două încăperi I, II.

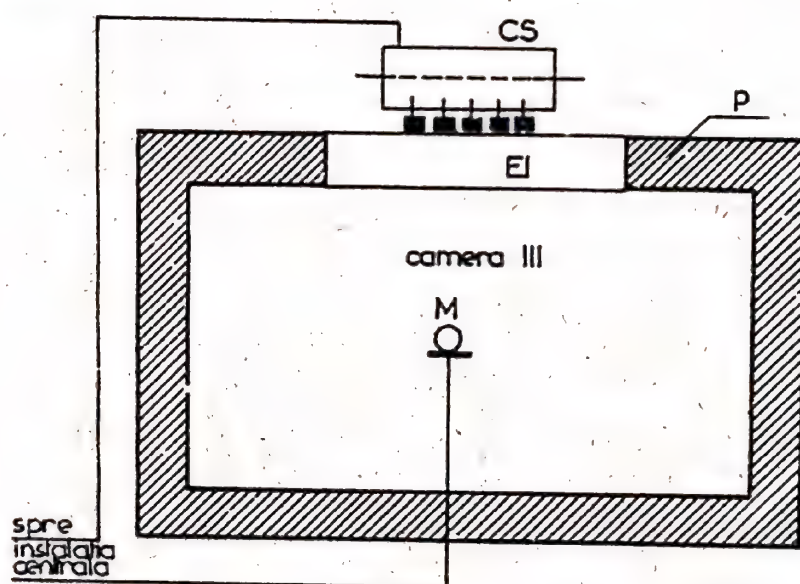
Microfonul este partea cea mai sensibilă din complexul electroacustic de recepție. Sînt indicate microfoanele Neumann tip condensator, omnidirecțional, cu caracteristică de liniaritate pentru toate benziile de frecvență, etalonate cu ocazia flectării măsurătorii, cu ajutorul unei surse etalon de excitație.

Amplificatoarele nu trebuie să introducă paraziți la un





a.



b.

Fig.164. Scheme pentru determinarea gradului de izolare fonică la transmiterea zgomotului aerian (a) și de impact (b). D-difuzor; M-microfon; CS-cloacan standard; EA-element de probă încercat la transmiterea zgomotului aerian; EI-element de probă încercat la transmiterea zgomotului de impact; P-pereți cu capacitate de izolare acustică ridicată.

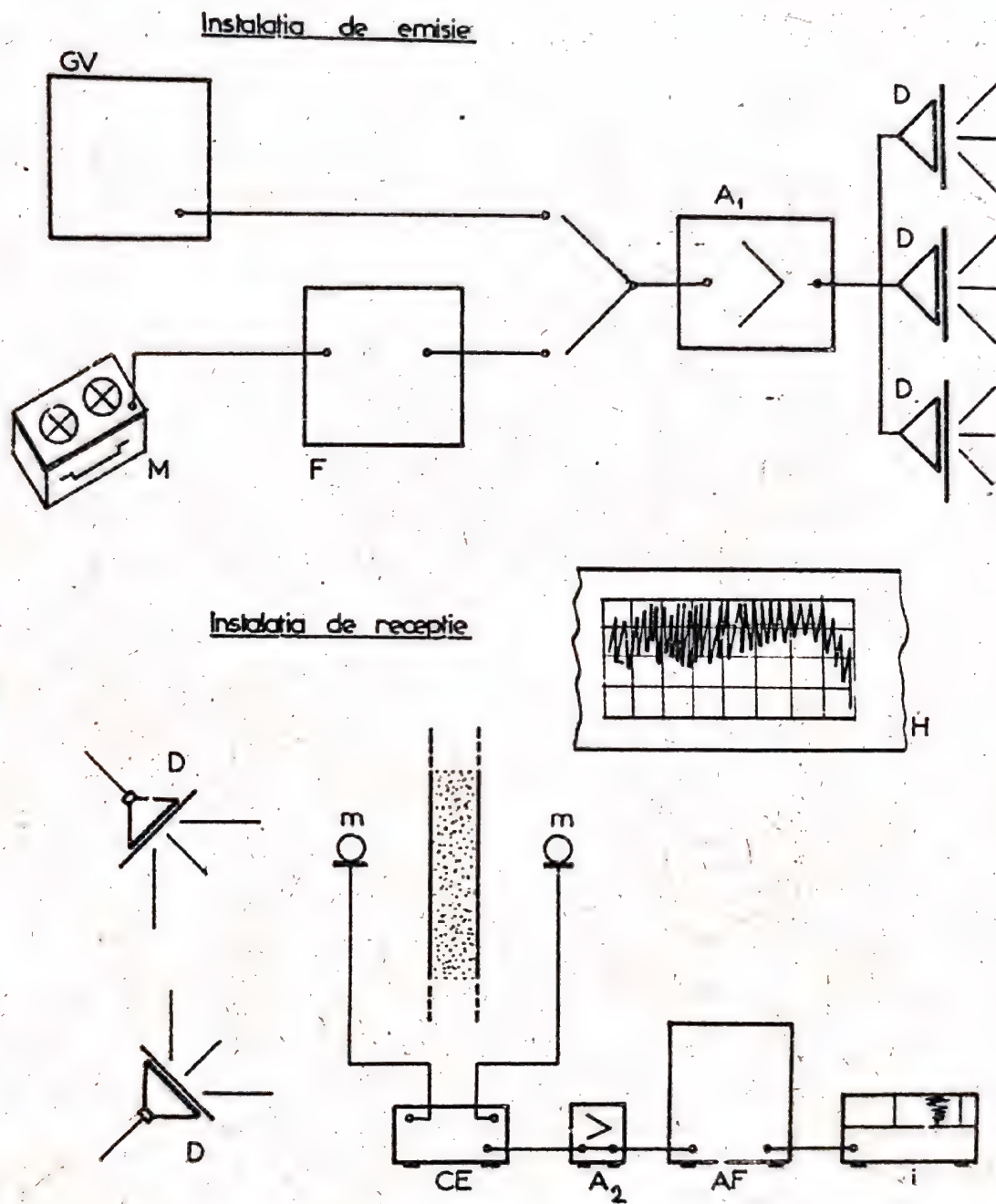


Fig.165. Instalația pentru măsurarea gradului de izolare acustică la transmisia zgomotului aerian. GV- generator ton; F-filtru; H-magnetofon; A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = amplificator; D-difuzor; m-microfon; CE-comutator; AF-amplificator filtru; i-inregistrator rapid de nivel; H- oscilograma zgomotului.



nivel care ar perturba sunetele preluate și amplificate și să păstreze același raport de amplificare pentru toate frecvențele domeniului de lucru.

Difuzoarele joacă rol de traductori care transformă energia acustică și trebuie să aibă o putere de 12,5....25 W fiecare.

Indicele experimental efectiv de izolare fonică al unui element de construcție poate fi considerat în următoarele accepțiuni :

- Indicele de izolare brută, care se definește ca diferența dintre nivelele de prestare acustică medie din încăperea în care se emite sunetul ( $L_1$ ) și încăperea în care se recepționează ( $L_2$ ), conform cu relația :

$$D_b = L_1 - L_2 \quad (342)$$

Indicele de izolare brută  $D_b$  nu caracterizează riguros izolarea fonică dată de elementele de construcție deoarece nu cuprinde influența absorbției acustice a încăperii.

- Indicele standard de izolare fonică definește izolarea fonică a unui element de construcție la o încăpere de recepție cu capacitatea echivalentă de absorbție de  $10 \text{ m}^2$ , ceea ce corespunde capacității medii de absorbție acustică la încăperi mobilate normal. Se calculează cu expresia:

$$D_s = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A_0}{A} \quad (343)$$

în care:

-  $A$ , suprafața de absorbție echivalentă a încăperilor de recepție;

-  $A_0$ , suprafața de absorbție echivalentă de referință, luată în general egală cu  $10 \text{ m}^2$ .

Factorul de corecție  $10 \cdot \log \frac{A_0}{A}$  este reprezentat adesea sub o formă echivalentă :  $10 \log \frac{T}{T_0}$ , în care  $T_0$  este timpul de reverberație egal cu 0,5 sec., iar  $T$  calculat cu relația  $T = \frac{0,164 \cdot V}{A}$

în care:

- $V$ , volumul încăperii în  $m^3$  ;
- $A_0 = 10 m^2$  absorbția medie a unei încăperi de locuit.

Indicele de izolare acustică sau reducere sonoră, calculat cu una din relațiile 344, 345 :

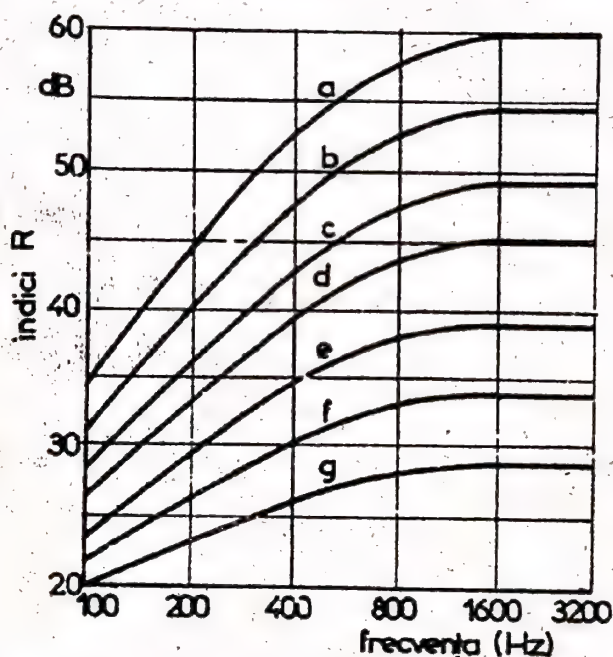


Fig.166. Indici de reducere sonoră  $R$  în funcție de frecvență (valori minime), conform STAS 6156-60. Curbele a, b, c, d, e, f, și g corespund valorilor medii de 53, 48, 40, 35, 30 și 25 dB. a) pereți exteriori fără ferestre, la spitale ; b) pereți exteriori la locuințe ; c) pereți interiori la spitale ; d) pereți interiori la locuințe ; e) pereți exteriori cu ferestre ; f) ferestre duble ; g) uși duble.



" 308 "

$$R = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_2} \quad (344)$$

în care:

- $W_1$ , energia sonoră emisă, în dB ;
- $W_2$ , energia recepționată, în dB.

Cînd peretele separă două încăperi învecinate, indicele de reducere sonoră este dat de relația :

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{A}{S} \quad (345)$$

în care:

- $S$ , suprafața peretelui, în  $m^2$ .

Dimensionarea gradului de izolare fonică la zgomotul aerian constă în verificarea inegalității :

$$R \geq D_{nec} \quad (346)$$

Indicii de reducere fonică în funcție de frecvență, sînt prezentați în graficile din fig.166. Curbele a,b,c,d,e,f,g din diagramă corespund valorilor minime ale indicelui de reducere fonică pentru frecvența de 800 Hz, avînd valorile respectiv 53, 48, 43, 35, 30, 25 dB în funcție de tipul elementului de construcție. Rezultatele situate deasupra unei curbe caracterizează zona favorabilă, corespunzătoare elementului de construcție considerat.

După normele franceze 63-66/964, indicii mediu de izolare standard, pe benzi de frecvențe trebuie să prezinte valorile minime, la construcții de locuințe, astfel :

- 36 dB pentru domeniul 100.....320 Hz ;
- 48 dB pentru domeniul 400..... 1250 Hz
- 54 dB pentru domeniul 1600..... 3200 Hz

La încăperi la care nivelul acustic admisibil este mai ridicat, gradul mediu necesar de izolare fonică se ia 35 dB. La

încăperi la care nivelul acustic admisibil este redus (studiouri, săli concert), valoarea medie necesară a gradului de izolare fonică se ia 60-65 dB.

Capacitatea de izolare fonică efectivă a elementelor de construcție, în funcție de masă este prezentată în diagramele din fig.167.

În conformitate cu STAS 6156-60 se prezintă, în tabelele 17 și 18, valorile indicilor  $R$  de atenuare acustică pentru elemente de construcție în funcție de natura lor și destinația clădirilor.

În fig.168 se prezintă valorile indicilor  $D_p$  determinați pe cale experimentală de către catedra de Construcții de la Institutul politehnic Iași, la o clădire de locuit cu structură din beton armat monolit (curba b) și la altă clădire de locuit cu structură din panouri mari de beton armat (curba c). Se observă că pentru frecvențe sub 1250 Hz curba izolării fonice standard pentru a doua clădire este situată în zona rezultatelor defavorabile.

#### 8. Atenuarea zgomotului aerian prin ferestre și uși.

Atenuarea acustică a pereților cu ferestre sau uși prezintă importanță deosebită deoarece aceste elemente de construcție influențează direct acțiunea zgomotului străzilor, în casele de scări și din locuința însăși. Tendința protejării unor ferestre și uși de dimensiuni mari, din sticlă, subliniază importanța cunoașterii caracteristicilor de izolare acustică a pereților și ușilor.

Indicele de atenuare a unui perete combinat cu fereastră sau ușă se calculează cu expresia :



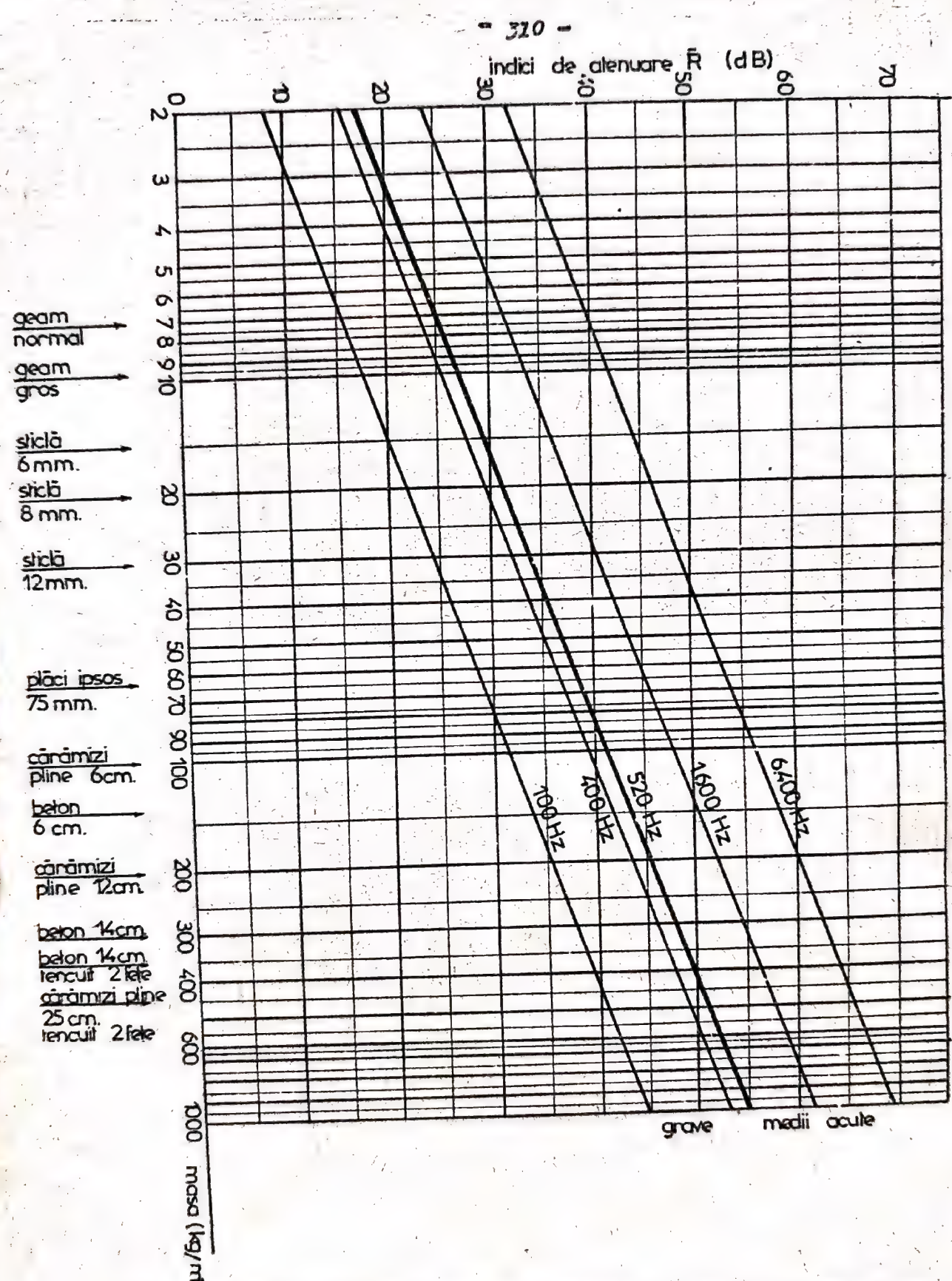


Fig.167. Variația izolării acustice a elementelor de construcție în funcție de masă.

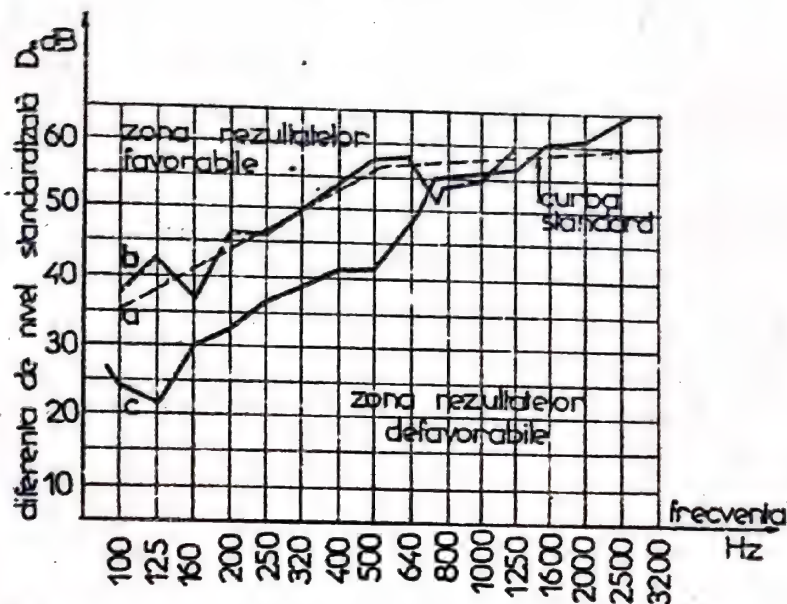


Fig. 168. Indici de atenuare la transmisia zgomotelor aeriene pentru blocuri de locuit. a) curba standard ; b) indici  $D_s$  pentru bloc de locuințe cu structură din beton armat monolit; c) indici  $D_s$  pentru clădire de locuit cu structură din panouri mari din beton armat.

$$R_t = R_1 - 10 \log \frac{\frac{R_1 - R_2}{10} + 10}{1 + \frac{S_1}{S_2}} \quad (347)$$

în care:

- $R_t$ , indicii total de atenuare acustică a peretelui combinat, în dB ;
- $R_1$ , indicii de atenuare acustică a peretelui fără timpdrie, în dB ;
- $R_2$ , indicii de atenuare a ferestrei sau ușii, în dB ;
- $S_1$ , suprafața peretelui, fig. 169, fără timpdrie, în  $m^2$  ;
- $S_2$ , suprafața ferestrelor sau ușilor din perete, în  $m^2$ .

Dacă se notează cu  $R$  valoarea atenuării cu care se diminuează coeficientul de izolare acustică al peretelui datorită tim-

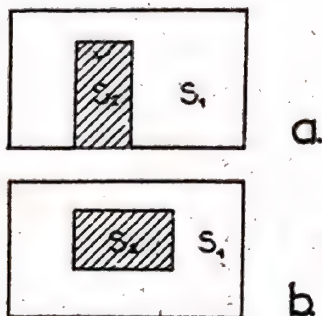


plăriei se obține relația:

$$R_t = R_1 - R \quad (348)$$

Pentru cazurile practice este suficientă relația aproximativă:

$$R_t = R_2 + 10 \log \frac{S_1}{S_2} \quad (349)$$



Această relație arată că coeficientul de atenuare acustică al timplicei  $R_2$  și raportul  $\frac{S_1}{S_2}$  caracterizează valoarea  $R_t$ . Atenuarea totală a peretelui cu timplice poate fi îmbunătățită esențial prin îmbunătățirea atenuării pereților și ușilor.

Astfel pentru  $R_2 = 0$  și  $\frac{S_1}{S_2} = 10$ ,  $R_t = 10$  dB pentru  $\frac{S_1}{S_2} = 3$ ,  $R_t = 5$  dB.

Fig. 169. Atenuarea fonică a peretelui cu timplice: a) perete cu ușă; b) perete cu ferăstrău.

Relația de mai sus este valabilă în limitele de aproximație de  $\pm 1$  dB.

$$1 \leq (R - R_{\text{aprox}}) \leq +1 \quad (350)$$

În care:

-  $R$ , scăderea exactă a atenuării din termenul 2 al relației de mai sus,

-  $R_{\text{aprox}}$ , scăderea aproximativă a atenuării dată de relația:

$$R_{\text{aprox}} = R_1 - R_2 - 10 \log \frac{S_1}{S_2} \quad (351)$$

Acțunua pereților compuși pentru observatorul din camera ce trebuie protejată acustic este dată de diferența de intensitate acustică  $D = L_1 - L_2$ , dintre camera de emisie și

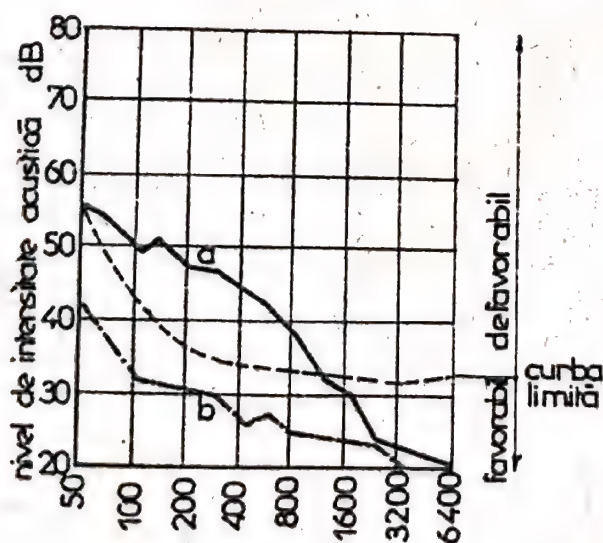
de recepție care la rândul său e dată de atenuare totală  $R_t$ , de suprafață  $S_1 + S_2$  și de absorbția acustică din camera de recepție conform relației:

$$D = L_1 - L_2 = R_t - 10 \log \frac{S_1 + S_2}{A} \quad (352)$$

- $D$ , diferența de nivel a intensității sonore, în dB ;
- $L_1$ , nivelul de intensitate acustică, în camera de emisie, în dB ;
- $L_2$ , nivelul în camera de recepție, în dB ;
- $R_t$ , coeficientul de atenuare acustică a peretelui cu timplărie, în dB ;
- $S_1$ , suprafața peretelui fără timplărie, în  $m^2$ ;
- $S_2$ , suprafața timplăriei în  $m^2$  ;
- $A$ , absorbția acustică în  $m^2$ , conform relației:

$$A = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + \dots \quad (353)$$

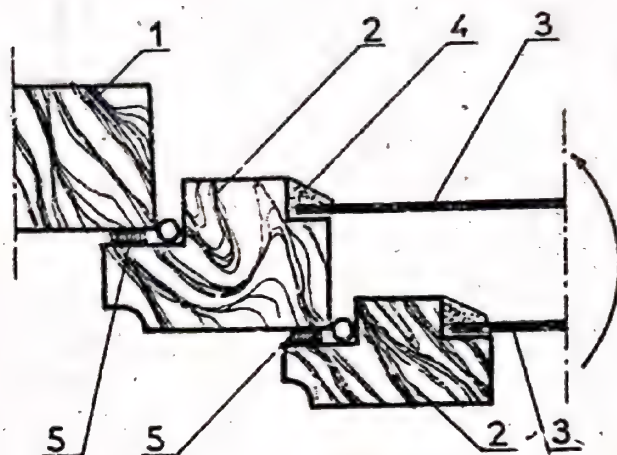
Curba de atenuare a peretelui combinat urmează a fi analizată comparativ cu curba admisibilă pentru zgomotul perturbator, fig.170.



Pentru ridicarea gradului de atenuare acustică a timplăriei, a ușilor și ferestrelor se pot folosi garnituri de etanșare între cercevele, foi și toc, fig.171, din materiale elastice micșorându-se pe această cale acțiunea negativă a punților acustice.

Fig.170. Curba de atenuare acustică admisibilă pentru perete cu timplărie





**Fig.171. Etanșarea acustică a  
timplăriei cu garnituri elastice.**

**1 - toc; 2 - cercevea; 3 - geam;  
4 - chit; 5 - garnitură elastică.**

Tabelul 17

Valorile indicilor R de atenuare acustică conform STAS

6156 - 60

Nr. crt. de construcție	Descrierea elementelor	Grosimea totală	Greutate totală	Indicii de atenuare R (valori medii)
		cm	Kgf/m <sup>2</sup>	dB
1. Pereți simpli din:				
	Zidărie de cărămidă pline, tencuită pe ambele fețe:			x)
- 1/4 cărămidă.....	10	180	42	
- 1/2 cărămidă.....	15	240	45	
- 1 cărămidă.....	28	500	50	
- 1 cărămidă.....	40	720	53	
- 2 cărămidă.....	53	950	55	
2. Zidărie de cărămidă găurite pe ambele fețe (găurite numai în interiorul peretelui):				
- 1/4 cărămidă.....	10	140	40	
- 1/2 cărămidă.....	15	210	40	
- 1 cărămidă.....	28	400	48	
3. Plăci de ipsos cu zgură, tencuite pe ambele fețe.....				
	10	140	41	
4. Plăci de beton cu zgură, idem.				
	10	180	44	
5. Plăci de beton ușor, idem.....				
	10	100	38	
6. Plăci stufit 5 cm grosime, idem.....				
	8	100	40	
7. Două straturi de plăci de stufit, de 5 cm grosime, lipite cu un strat de mortar, tencuit pe fețele exterioare.....				
	16	160	46	

x) În cazul execuției zidăriei de mortar de ciment și o tencușii lor de mortar de var cu adaos de ciment, indicii R se măresc la 44, respectiv 48 dB.



# Tabelul 1C

Valorile normate ale indicilor de atenuare acustică R, în dB în raport cu destinația  
căldirilor conform STAS 6156 - 60

Nr. Destinația clădirilor	Pereți exteriori		Pereți interiori						Feres- tre duble	Ugi
	plini	cu ferestre și ugi	între 2 unități de joio- sință independente sau spre scări și spații de circulație comune							
			plini	cu ugi	plini cu ugi	în cu- prinsul aceleiași unități de joio- sință	Plan- șee inter- media- re în- cluse par- do- seală			
1. Spitale, sanatorii, biblioteei, săli de concert, teatre.....	53	40	53 (48)	40 (35)	45	30	53	35	25 (35)	
2. Alte destinații.....	48	35	48 (43)	35 30	40	25	48	30	20 (30)	

De exemplu între două locuințe, între locuință și scară, între cameră de hotel sau bolnavi și coridor  
și fochier etc.

De exemplu la locuințe între încăperile aceluiași apartament, la bibliotecă între camerele individua-  
le și sălile de lectură etc.

Nu mai între camerele de hotel, cămin sau de bolnavi adiacente.  
Spre spații de circulație comune.

### 9. Izolarea fonică la zgomotul de impact.

La planșee zgomotele sînt transmise atît prin aer cît și prin vibrațiile concentrate determinate de circulația persoanelor, mișcarea mobilierului sau funcționarea instalațiilor. Capacitatea de izolare fonică a planșeelor la zgomotele din aer depinde de greutatea pe  $m^2$  a elementului de construcție. În funcție de greutatea  $q$   $Kg/m^2$ , cuprinsă între 150 și 460  $Kg/m^2$ , gradul de izolare fonică este cuprins între 42 și 54 dB. În funcție de frecvență gradul necesar al izolării fonice a planșeelor la zgomotul aerian este de 33 pînă la 56 dB pentru domeniul de frecvență  $f = 100 \dots 3200$  Hz. În general sistemele de planșee de beton armat asigură izolarea fonică necesară la zgomotul aerian.

Pentru micșorarea vibrațiilor prin șoc asupra planșeelor, ce se transmit și pereților, sînt necesare măsuri de amortizare a zgomotelor din circulație, ceea ce se poate obține prin pardoseli pe dală flotantă, fără legături rigide cu restul construcției, fig.172.

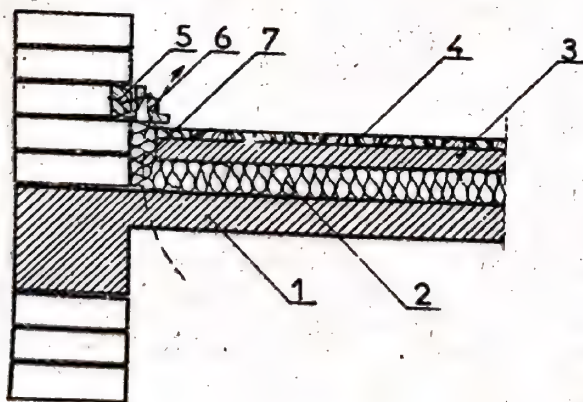


Fig.172. Pardoseală pe dală flotantă; 1-planșeu beton armat; 2-izolație acustică;

Determinarea gradului de izolare fonică la zgomotul de impact se face pe cale experimentală, folosindu-se excitarea sonoră a planșeului cu ciocanul standard internațional, fig.173.

Ciocanul standard este o mașină acționată manual sau electric, cu 5 ciocane de câte 500 g fiecare, ce cad de la  $h = 4$  cm, cu cadența loviturilor de 10 bătăi/s.



3- dală B200, 3,5 cm; 4-parchet; 5-diblu; 6-pervaz; 7-izolație verticală.

În camera de recepție este instalat lanțul electroacustic de recepție, alcătuit din microfon, amplificator, filtru, fonometru, oscilograf catodic, care împreună alcătuiesc schema spectrometrului acustic.

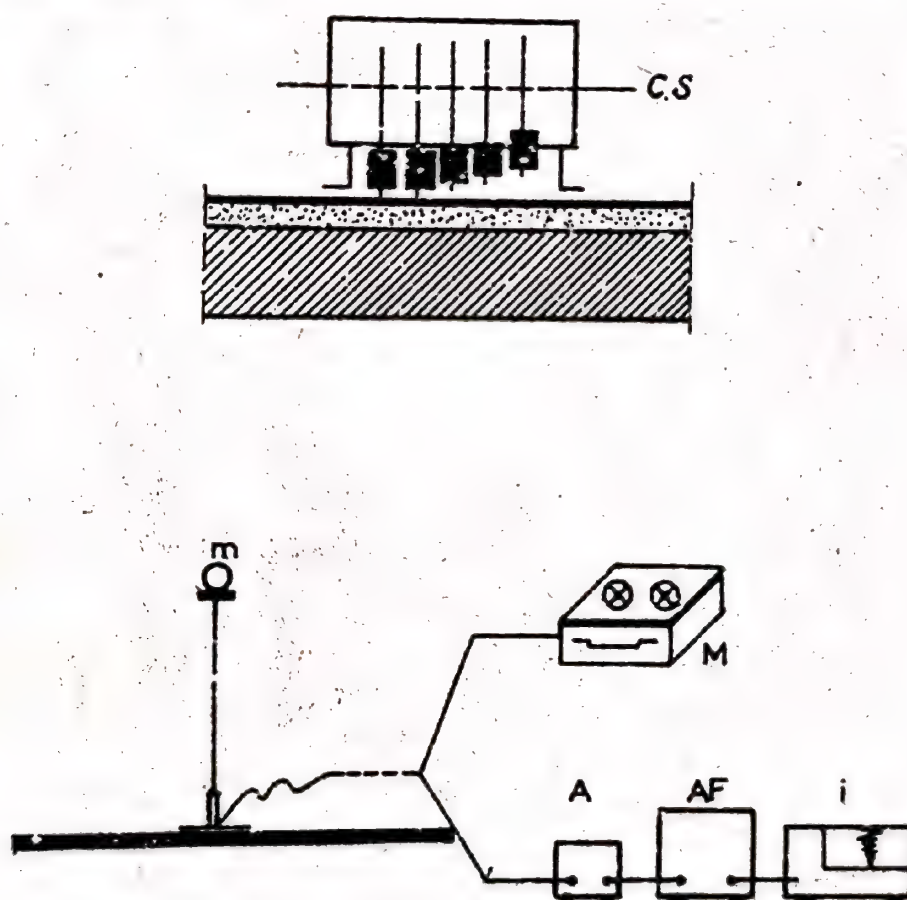


Fig.173. Schemă pentru instalația de măsurare la zgomotul de impact. M - microfon ; M-magnetofon ; i - amplificator ; i - înregistrator ; AF - sistem de filtre și comutator automat; C.S - cloacan standard.

Încercarea planșeului se poate face pe structura brută sau după montarea pardoselii determinându-se astfel eficiența fonică a acesteia. Nivelul de intensitate auditivă a zgomotului în camera de emisie se notează cu  $L_1$ .

Pentru ca zgomotele produse de circulație să nu afecteze confortul în încăperea inferioară este necesar ca nivelul global de intensitate auditivă a sunetului  $L_2$ , măsurat în camera de recepție, cu ajutorul fonometrului să satisfacă relația :

$$L_2 \leq 85 - \log A \quad (354)$$

în care:

$A$  - aria de absorbție echivalentă în încăperea de recepție, în  $m^2$ .

În fig.174, se prezintă după STAS 6156-60 curba nivelului admisibil a intensității sonore a zgomotului de impact, în funcție de frecvență, variind de la 70 la 50 dB pentru valori ale frecvenței cuprinse între 100 și 3200 Hz. Rezultatele obținute sub curba standard caracterizează zona admisibilă.

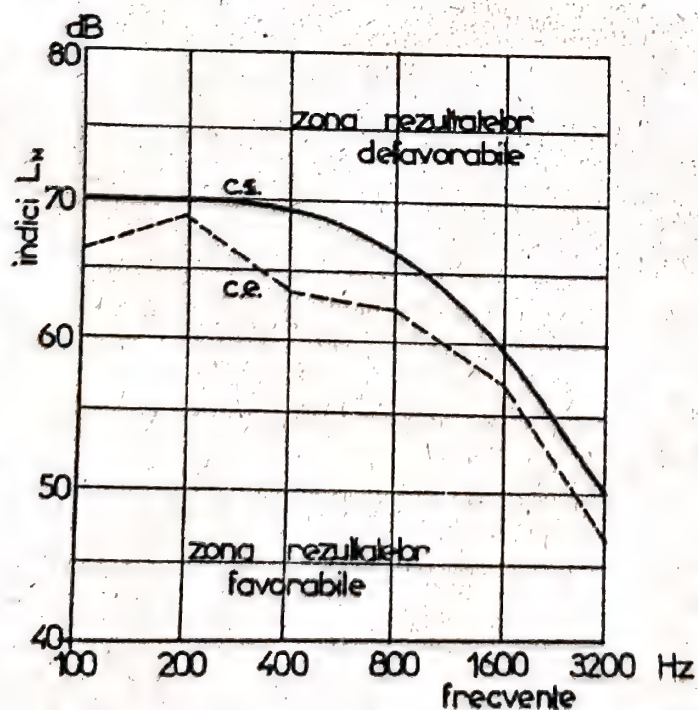


Fig.174. Indici de reducere sonoră la zgomotul de impact, conform STAS 6156-60. c.s., - curba standard ; c.e., - curba efectivă.



După normele franceze *H F S - 31.002*, adoptate și pe scară internațională, intensitatea zgomotului măsurat în benzi de frecvență de 1/3 octavă, în încăperea de recepție, trebuie să fie sub limitele (fig.175)

- 66 dB în domeniul 100.....320 Hz ;
- 62 dB în domeniul 400.....1250 Hz ;
- 51 dB în domeniul 1600.....3200 Hz ;

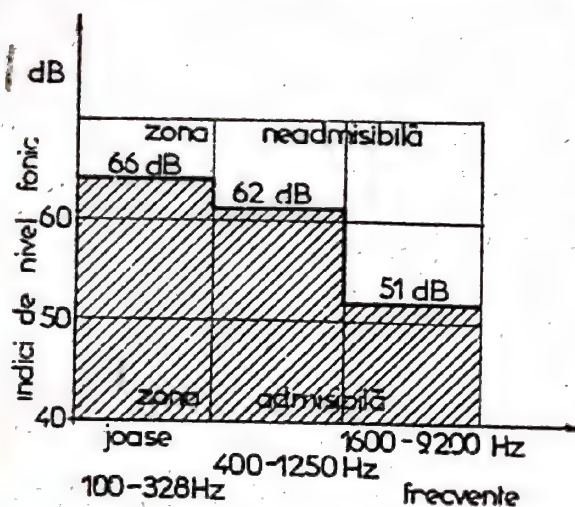


Fig.175. Nivelul admisibil al intensității sonore a zgomotului de impact după normele franceze.

Nivelul zgomotului de  $\rho_{00}$  standard ( $D_s$ ) se poate determina cu relația:

$$D_s = L_2 - 10 \cdot \log \frac{A_0}{A} \quad (355)$$

în care:

- $L_2$ , nivelul zgomotului în camera de recepție, în dB ;
- $A_0 = 10 \text{ m}^2$ , valoarea absorbției de referință ;
- $A$ , valoarea absorbției totale în camera de recepție în  $\text{m}^2$ .

Dacă se urmărește influența unei modificări aduse structurii planșeu-pardoseală, se calculează aportul suplimentar de izo-

lare  $\Delta L$ , cu relația:

$$\Delta L = L_{n1} - L_{n2} \quad (356)$$

în care  $L_{n1}$  și  $L_{n2}$  sînt nivelele zgomotului de  $\rho_{00}$  standardizat, înainte și după modificarea structurii, măsurate în aceeași încăpere, conform condițiilor expuse mai sus.

Caracteristicile de izolare fonică a ansamblului planșeu-pardoseală pot fi apreciate pe cale grafică, comparînd curbe re-

prezentând nivelul zgomotului măsurat, cu curba de referință a zgomotului normal, (fig.176). Evaluarea izolației fonice la zgomotul de impact se face pe cale grafică, deplasând curba normală (desenată pe calor) pînă se suprapune cu curbă măsurată și desenată pe graficul standard, în așa mod încît depășirea nefavorabilă medie să fie de 2 dB, adică suma depășirilor nefavorabile ( $\sum h$ ), măsurate în dB în fiecare treime de octavă, împărțită la 15 (numărul total al treimilor de octavă), să reprezinte 2 dB. Evaluarea izolației fonice la zgomotul de impact reprezintă numărul de decibeli care măsoară, deplasarea în sus sau în jos a curbei standard, pentru a se suprapune cu curbă măsurată în condițiile prezentate mai sus. Valoarea obținută privind evaluarea izolației fonice poate fi pozitivă sau negativă, după cum deplasarea curbei standard se face dintr-o zonă rezultată nefavorabilă spre zona rezultatelor

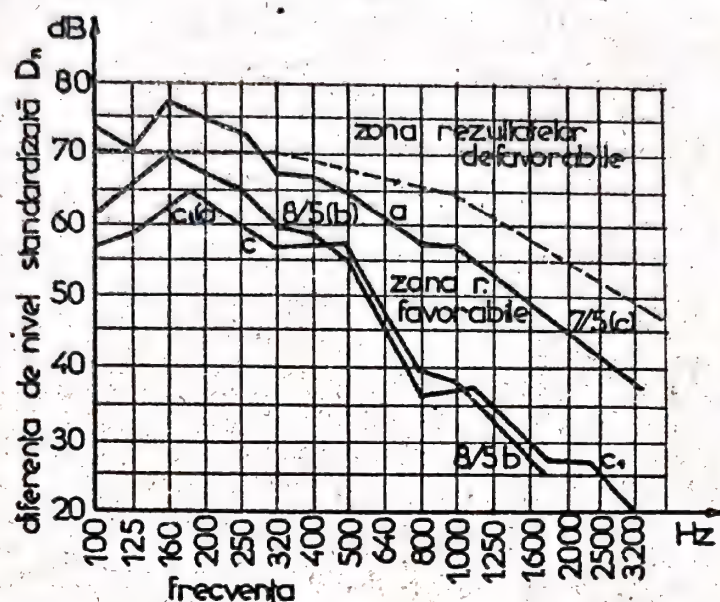


Fig.176. Exemple de determinare a evaluării izolației la zgomot de impact. 1- curba de referință ; 2- curba nivelului zgomotului măsurat; 3- curba de referință deplasată cu 9 dB în sens favorabil ( $E = + 9$  dB).

metul de impact se face pe cale grafică, deplasând curba normală (desenată pe calor) pînă se suprapune cu curbă măsurată și desenată pe graficul standard, în așa mod încît depășirea nefavorabilă medie să fie de 2 dB, adică suma depășirilor nefavorabile ( $\sum h$ ), măsurate în dB în fiecare treime de octavă, împărțită la 15 (numărul total al treimilor de octavă), să reprezinte 2 dB. Evaluarea izolației fonice la zgomotul de impact reprezintă numărul de decibeli care măsoară, deplasarea în sus sau în jos a curbei standard, pentru a se suprapune cu curbă măsurată în condițiile prezentate mai sus. Valoarea obținută privind evaluarea izolației fonice poate fi pozitivă sau negativă, după cum deplasarea curbei standard se face dintr-o zonă rezultată nefavorabilă spre zona rezultatelor



favorabile sau invers.

În fig.176, se prezintă și rezultatele măsurătorilor atenuării fonice la zgomotul de impact pentru trei soluții de planșeu-pardoseală, fig.177, la clădiri cu structură din beton armat monolit și din panouri mari prefabricate. Se constată izolarea mai mică și insuficientă pentru structura „a”, la frecvențe sub 320 Hz.

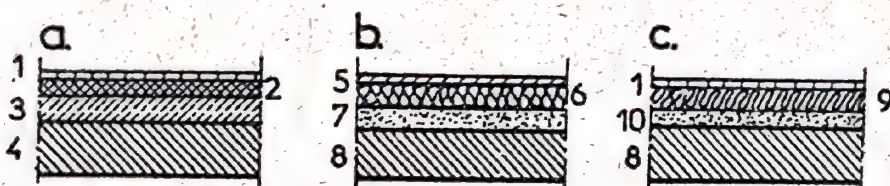


Fig.177. Structuri fonoabsorbante la zgomotul de impact.

a - soluții realizate la blocul cu structură din beton monolit ;  
b - soluții realizate în blocul cu structură din panouri mari ;  
c - soluții realizate la blocul cu structură fagure, din beton armat. 1 - parchet lamelar (1 cm) ; 2 - sapă de mortar (2 cm) ; 3 - beton de zgură (5 cm) ; 4 - placă prefabricată din beton armat (10 cm) ;  
5 - parchet de fag (1,7 cm) ; 6 - plăci din rubeton (4 cm) ;  
7 - strat de egalizare din nisip (3 cm) ; 8 - placă monolită din beton armat (10 cm) ; 9 - P.F.L. poros (2 cm) ; 10 - strat de egalizare din nisip (4 cm).

Pentru atenuarea zgomotelor din impact se pot folosi în stratul suport al pardoselii, sub dala flotantă, plăci semirigide și rigide din vată minerală, obținute la Bercenti prin presarea vatei minerale, căreia i s-a adăugat polimeri și a fost supusă pentru întărire unui tratament termic. Dimensiunile plăcilor sînt 1,20 . 0,6 m și grosimi 10, 15, 20, 30 mm,  $\rho = 85...90 \text{ Kg/m}^3$ .

## 10. Acustica încăperilor.

### 10.1. Fixarea sunetului în încăperi

#### 10.1.1. Energia sonoră incidentă și reflectată. Difuzivitatea sonoră. Ecou.

Bazele fizice ale acusticii încăperilor au fost stabilite inițial pe cale experimentală. Confirmarea lor teoretică este de dată relativ recentă. În același timp s-au precizat criteriile psihologice care intervin în proiectarea acustică a încăperilor.

În antichitate oamenii se ocupau în primul rând cu realizarea acustică a construcțiilor în aer liber, așa cum este cunoscut la vestitele amfiteatre.

La teatre de vară pentru a se obține o bună difuzivitate, fig.178, în afară de unda sonoră directă este indicat a se folosi perete de scenă și podium reflectante, ceea ce contribuie la creșterea intensității sonore.

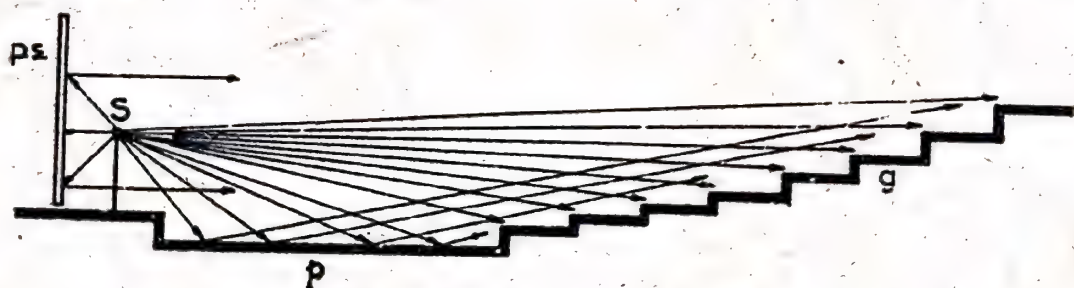


Fig.178. Difuzivitatea energiei sonore la teatre în aer liber. S - sursa sonoră ; p.s. - perete scenă ; p - podium reflectant ; g - gradene ;

Iatăci ne interesează în special propagarea sunetelor în spații închise în vederea asigurării condițiilor optime la cinematografe, săli de concerte, săli de spectacole, teatre, cluburi, auditorii.



Dacă în aer liber legile acusticii sînt mai ușor de aplicat, în spații închise este necesar să se cunoască relațiile fundamentale care leagă undele sonore de caracteristicile spațiale ale sălilor și de caracteristicile de absorbție ale materialelor. Într-un spațiu închis, dacă  $S$  este sursa sonoră, fig.179, într-un punct  $A$ , pe lângă energia incidentă acționează și energia reflectată, într-un mod complex.

Studii efectuate de Sabine la începutul secolului nostru, au condus la metoda de calcul statistico-geometrică, care permite stabilirea unor relații cantitative între volumul, reflexia sau absorbția acustică a sălilor și durata de reverberație, care exprimă calitatea acustică de bază a încăperilor.

În ultimul timp ipoteza cîmpului sonor difuz a permis dezvoltarea metodei statistico-geometrice și folosirea ecuației undelor pentru studierea criteriilor de apreciere a caracteristicilor acustice ale sălilor.

Una din metodele cele mai expeditiv folosite pentru studiul cîmpului sonor într-o încăpere este metoda acusticii geometrice prin analogie cu optica geometrică. Energia sonoră ce caracterizează o undă sonoră ce întâlnește un obstacol se reflectă în parte, iar o altă parte este

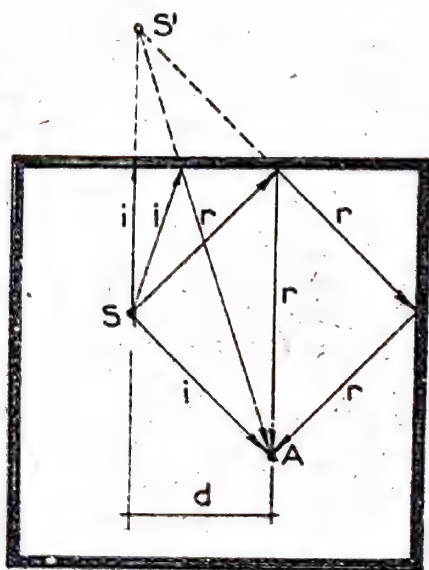


Fig.179. Energia sonoră incidentă și reflectată într-un spațiu închis.

absorbită de elementele de construcție.

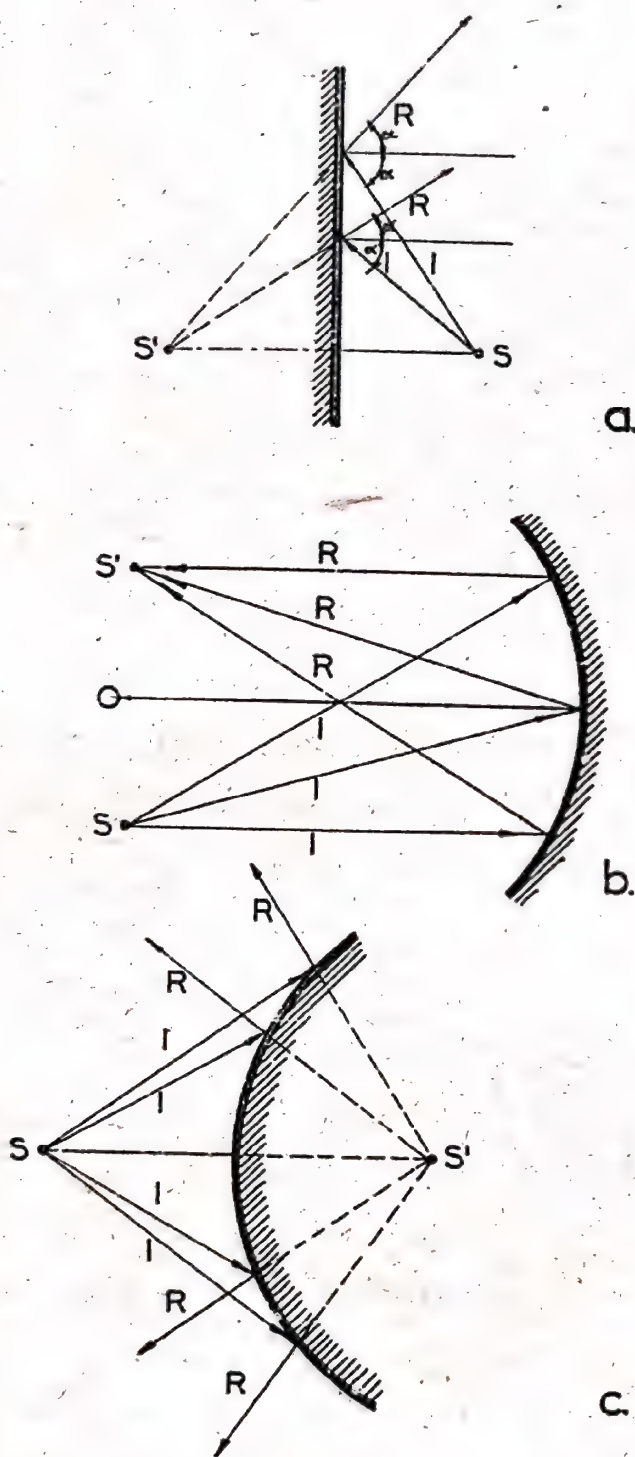


Fig.180. Reflexia undelor sonore. a) suprafață plană ; b) suprafață concavă ; c) suprafață convexă.

Fenomenele de reflexie sonoră, care influențează acustica încăperilor și sălilor, depind de dimensiunile obstacolului și au loc atunci când dimensiunile suprafeței reflectante sînt mai mari ca jumătatea lungimii de undă a sunetului incident.

Natura suprafeței și forma acesteia influențează sensibil fenomenele de reflexie. După forma suprafețelor pe care acționează undele sonore, distingem:

- suprafețe reflectante plane (fig.180-a) ;
- suprafețe reflectante concave (fig.180 - b) , care concentrează sunetul în zona de intensitate maximă și minimizează ceea ce afectează negativ audierea în sala respectivă;
- suprafețe convexe (fig.180 c) , care asigură o împrăștiere a energiei sonore contribuind la difuzia sunetului în încăperi și la obținerea unor condiții acustice optime.



Dacă considerăm un punct  $A$  al unui spațiu închis (fig. 181), obstacolul  $F$ , care poate fi peretele sau tavanul și  $S$  sursa sunetului, în punctul  $A$  din încăpere poate acționa energia sonoră incidentă ( $I$ ) peste care se suprapune energia reflectată ( $R$ ). Sunetul rezultat este obținut din sunetul incident și cel reflectat.

Sunetul reflectat parcurge un drum mai lung ( $d+d'$ ) în comparație cu sunetul incident ( $d - d'$ ). Experiențele lui Gustav Lyon au arătat că datorită inerției timpanului, întârzieri medii de  $1/15$  s ale undei reflectată față de unda incidentă sînt admisibile pentru urechea omenească, fără să apară fenomenul de ecou, caracterizat prin percepția a 2 sau mai multe sunete distincte. Pentru  $c = 343$  m/s, aceasta corespunde la o traiectorie a undei reflectate cu cel mult 22,5 m mai mare decît traiectoria undei incidente, pentru a se evita ecoul.

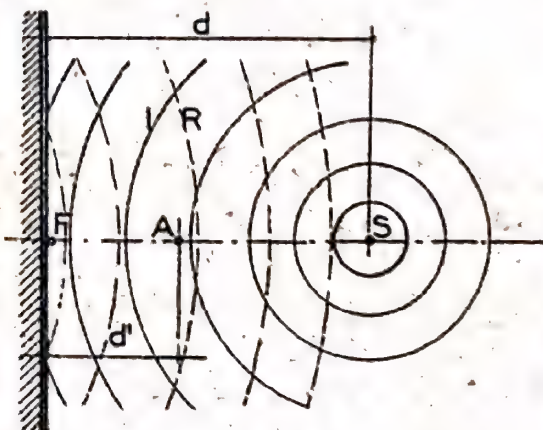


Fig. 181. Reflexia sunetului de obstacole plane.

În mod normal acest fenomen se manifestă într-un cadru mai larg. Astfel urechea omenească are proprietatea de a percepe o pauză între 2 sunete de  $1/10 \dots 1/20$  s. Două sunete ce vin cu întârziere mai mare sînt percepute ca două sunete distincte. În  $1/10$  s sunetul parcurge în aer 34 m, în  $1/20$  s, 17 m. Aceasta este condiția geometrică limită pentru evitarea ecoului. Pentru evitarea fenome-

nului de ecou este deci necesar ca diferența dintre drumul razei sonore care ajunge într-un punct după prima sau a doua reflexie

și drumul razei sonore directe care ajunge în același punct, să nu fie mai mare de 18 m ; în cazul contrar apare ecoul care poate fi suprimat numai prin tratarea suprafeței respective cu materiale absorbante. Din punct de vedere al ecoului sălile de spectacole se împart în două categorii care implică și măsuri constructive diferențiate :

- a) săli mici cu  $\ell < 11$  m, fără măsuri de absorbție acustică;
- b) săli mari cu măsuri de absorbție acustică.

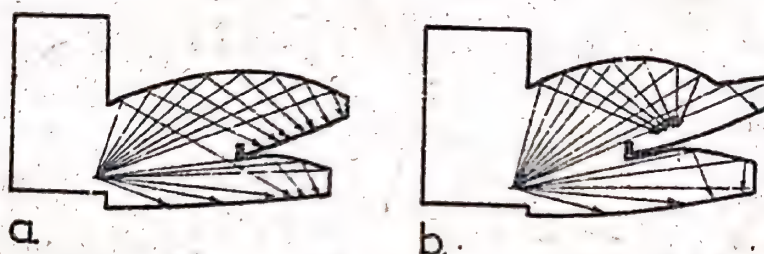


Fig. 182. Studiul acusticii tavanului la sălile de spectacole. a) Acustică bună. b) Acustică necorespunzătoare.

În fig. 182, se prezintă studii grafice pentru soluționarea profilului tavanului pe cale geometrică, în vederea evitării ecoului. În fig. 183 se analizează forma optimă a tavanului pentru o bună difuzivitate a energiei sonore.

În același scop se poate interveni modificându-se profilul pardoselii, având în vedere și cerințele de vizibilitate.

Studiul acustic al sălilor de spectacole urmărindu-se o bună difuzivitate sonoră și evitarea ecoului, necesită studii privind scena, pereții laterali, longitudinali, perețele de fund, pardoseala și tavanul astfel cum s-a arătat mai sus.



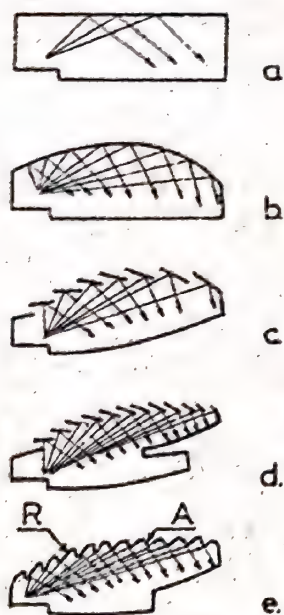


Fig. 183. Tipuri de tavane pentru săli de spectacole cu o bună distribuție a energiei sonore. R-reflectorant; A-absorbant.

Astfel limitarea dimensiunilor scenei și în special a înălțimii ei, fig. 184, poate conduce la micșorarea difuzivității sonore în sală obținându-se o distribuție neuniformă a energiei sonore în zona utilă a sălii. Pentru o bună difuzivitate a energiei sonore în sală se pot folosi suprafețe convexe la tavanul scenei, fig. 185, sau la tavan cît și la pardoseală, fig. 186. Pentru evitarea ecoului pe scenă este necesar ca distanța de la punctul extrinsec  $S$ , fig. 187 față de peretele de fund al scenei să fie mai mică de 22 m.

Peretele de fund se soluționează absorbant sau reflectant, avîndu-se în vedere evitarea ecoului și în același timp, în funcție de lungimea sălilor, asigurarea difuzivității cîmpu-

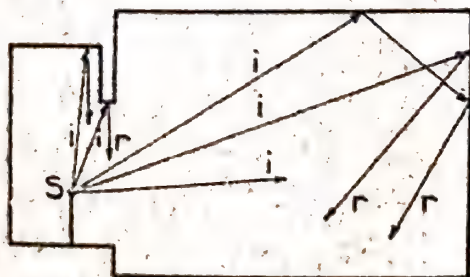


Fig. 184. Limitarea nejudicioasă a scenei în secțiune verticală.

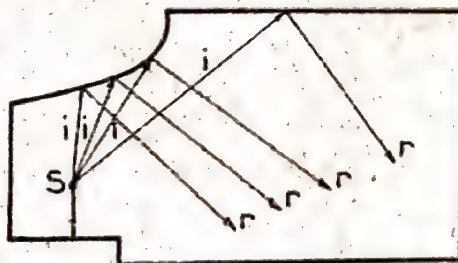


Fig. 185. Reflexia energiei sonore de către tavanul convex al scenei.

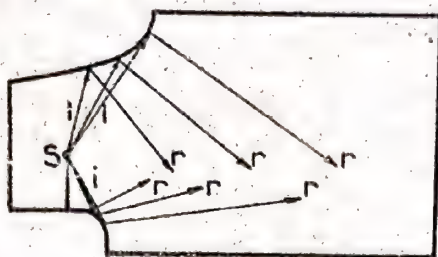


Fig.186. Reflexia energiei sonore de tavanul și pardoseala scenei.

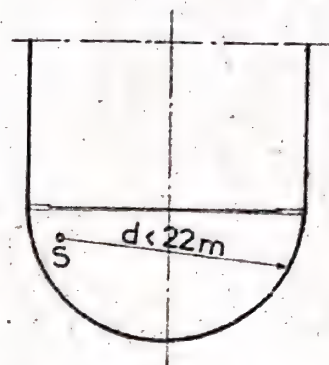


Fig.187. Distanța limită pe scenă pentru evitarea ecoului.

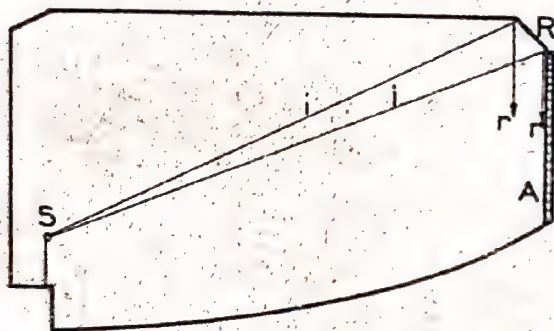


Fig.188. Soluționarea profilului de fund al sălii. A-absorbant; R-reflectant.



Fig.189. Profilul peretelui de fund al sălii. A-absorbant; R-reflectant.

La săli cu pereți paraleli reflectanți dacă se consideră distanțele  $d_1$  și  $d_2$  dela sursa sonoră la pereți, fig.190, pot interveni două situații, în ce privește ecoul și anume:

a) diferența de drum:  $2d_2 - 2d_1 > 22$  m, când apare ecou ;

b) undele ce pleacă din S spre pereți parcurg drumul  $2d_1 + 2d_2$ , întâlnindu-se cu undele reflectate de pereți și



fiind în fază se suprapun sporind intensitatea lor de 10...15 ori, dând naștere fenomenului de ecou-filfiftă.

Pentru evitarea fenomenului de ecou - filfiftă se recomandă ca pereții longitudinali ai sălii, în plan orizontal, fig.191, să nu fie paraleli, iar față de verticală este indicată o ușoară înclinare.

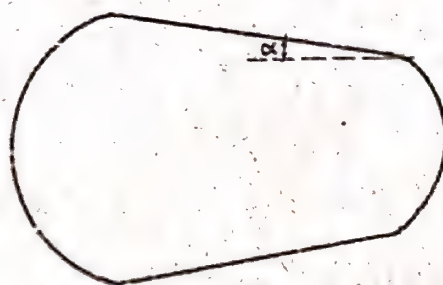
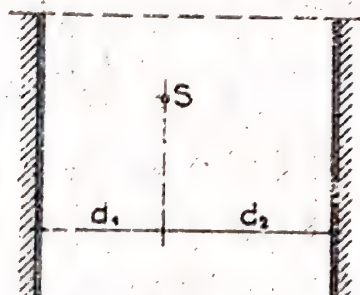


Fig.190. Condiție geometrică la săli cu pereți paraleli reflectanți pentru evitarea ecoului.

Fig.191. Forma optimă privind secțiunea de plan a unei săli.

#### 10.1.2. Durata de reverberație.

În cer liber durată unui sunet este sub formă de impulsuri este limitată la intervalul  $\Delta t$ , fig.192-a. În încăperi are loc o prelungire a duratei de acțiune a sunetului, fig.192-b,  $\Delta t' > \Delta t$  care depinde de caracteristicile de reflexie și de absorbție a suprafețelor interioare ale elementelor de construcție ce delimitează încăperea. Această calitate a încăperilor de a prelungi durata de acțiune a sunetelor, funcție de volumul și absorbția sălii poartă denumirea de reverberație și se studiază plecând de la cunoașterea câmpului sonor.

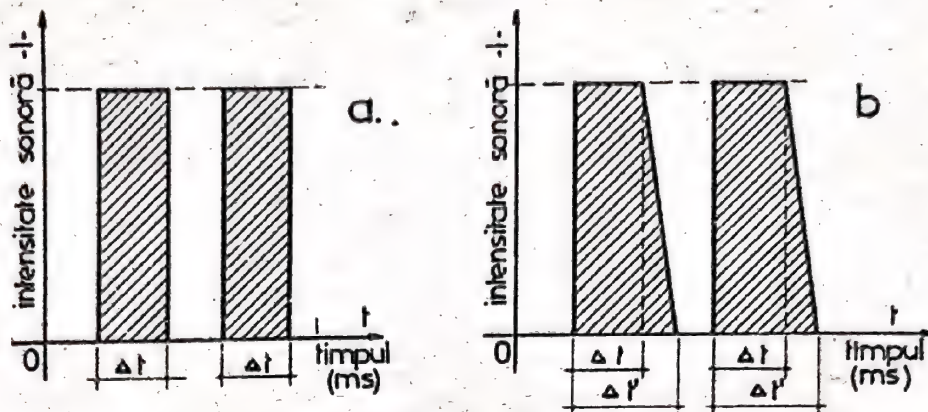


Fig.192 a-b. Durata sunetelor sub formă de impulsuri;  
a - în aer liber ; b - în încăperi

În aprecierea caracteristicilor sonore ale sălilor, prezintă interes atât studierea cîmpului sonor cît și variația energiei sonore în funcție de timp. Studiarea cîmpului sonor în săli cu ajutorul ecuației undelor presupune luarea în considerare a ecuației tridimensionale în coordonate rectangulare.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (357)$$

în care:

- $\phi$ , funcție potențial de viteze ;
- $c$ , viteza sunetului ;
- $x, y, z$ , coordonate rectangulare spațiale ;
- $t$ , timpul

În cazul undelor plane, ecuația cîmpului sonor devine:

$$\phi = c^2 \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad (358)$$

din care se poate deduce viteza particulelor de aer  $v = \frac{\partial \phi}{\partial x}$

(359)



Cunoscându-se câmpul sonor într-un spațiu închis, se poate obține ecuația variației densității energiei sonore în încăperea, plecându-se de la ecuația de bilanț sonor :

$$V \cdot \frac{dE}{dt} = W - \frac{E_0}{4} \cdot A \quad (360)$$

Prin integrare se obține :

$$E = \frac{4 \cdot W}{A \cdot c} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{A \cdot c}{4 \cdot V} \cdot t} \right) \quad (361)$$

în care :

- $W$  , puterea emisă de sursă ;
- $A$  , absorbția suprafețelor elementelor de construcție egală cu  $\Sigma \alpha S$ , în  $m^2$  ;
- $V$  , volumul sălii, în  $m^3$ .

În fig.193, se prezintă variația energiei sonore în încăperea în funcție de timp.

În zona I-a are loc creșterea energiei sonore, în zona II-a are loc regimul staționar, iar în zona III-a intervine scăderea exponențială a energiei sonore din încăperea.

În zona II-a,

$$E_s \text{ (energia staționară)} = \frac{4 \cdot W}{A \cdot c} \quad (362)$$

În zona III-a,  $W = 0$ , deoarece sursa sonoră a încetat.

Datorită reflexiei, sunetul se prelungește în încăperea, iar energia sonoră descrește după relația:

$$E_f = E_s \cdot e^{-\frac{A \cdot c}{4 \cdot V} \cdot t} \quad (363)$$

Se admite convențional să se numească durată de reverberație, timpul necesar pentru ca energia staționară dintr-o încăperea să se reducă la o zecime din valoarea inițială.

cădere să scadă, după încetarea emisie sursei sonore, la a cîtioana parte din valoarea ei inițială staționară, adică :

$$\frac{E_f}{E_s} = e^{-\frac{A \cdot c}{4V} \cdot t} = 10^{-6} \quad (364)$$

Scăderea de nivel a intensității sonore este de  $\Delta I = 10 \log 10^6 = 60$  dB. Înlocuind  $c = 343$  m/s se obține :

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{A} \quad (365)$$

în care :

- $T$ , este durata de reverberație, în secunde ;
- $V$ , volumul încăperii în  $m^3$  ;
- $A$ , absorbția acustică, în  $m^2$  ;

Această relație a fost verificată experimental de Sabine, care a stabilit că însușirile acustice ale unei încăperi depind de mărimea duratei necesare amortizării sunetului în interiorul ei.

Durata de reverberație a devenit cel mai valoros criteriu de apreciere a calității acustice a unei săli.

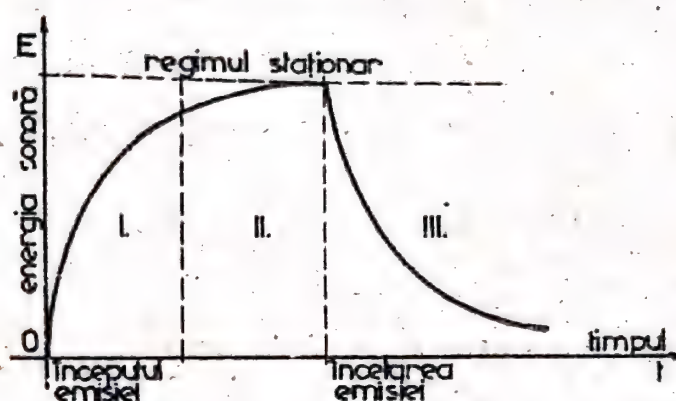
Relația lui Sabine se bazează pe ipoteza absorbției continue a energiei sonore.

Eyring face ipoteza că absorbția energiei sonore se face în mod discontinuu avînd în vedere caracterul de impuls al sursei sonore și anume ori de cîte ori o undă sonoră suferă o reflexie. Pe această bază el ajunge la relația :

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-A \log_e(1 - \alpha)} \quad (366)$$

Oa urmare a reverberației, într-o sală, spre deosebire de aerul liber, sunetela vorbirii apar mai pline, mai sonore, iar muzica mai colorată.





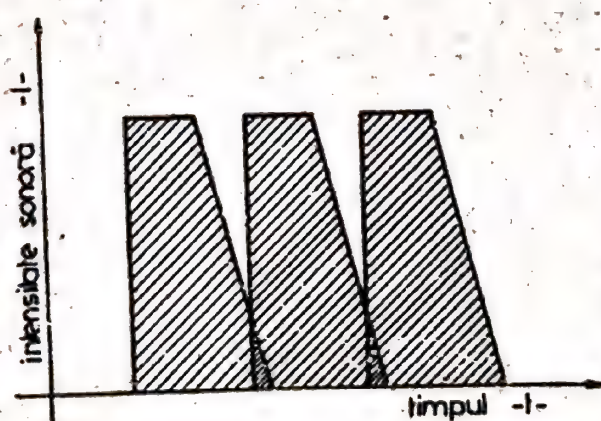
**Fig. 193. Variațiile energiei sonore într-o încăpere**

Dacă  $T$  este mic, audierea devine neplăcută, înfundată, vorba e lipsită de sonoritate și muzica de culoare.

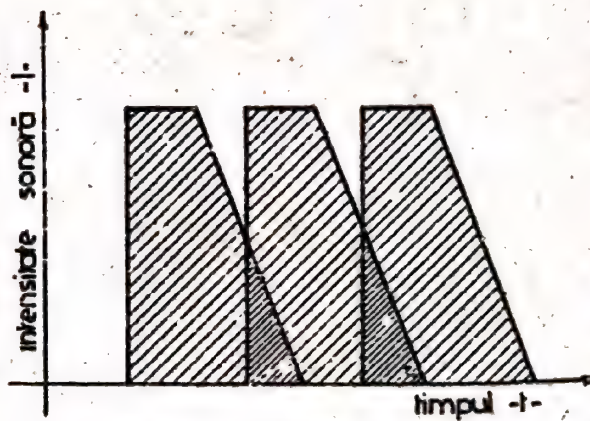
Dacă  $T$  este mare, vorba și muzica nu sînt percepute clar.

Dacă prelungirea duratei sunetului este prea mare se constată o mascare a acesuia, ceea ce dăunează buna audibilitate, fig. 194.

La încăperi cu capacitate mare de reflexie are loc o creștere excesivă a reverberației, fig. 195, ceea ce afectează negativ inteligibilitatea sălii.



**Fig. 194. Mascarea parțială a sunetului datorită reverberației**



**Fig. 195. Creșterea excesivă a reverberației**

Fenomenul de reverberație este pozitiv în măsura în care sporește intensitatea sunetului dând culoare și sonoritate cuvântului și muzicii și este negativ când printr-o prelungire prea mare a duratei sunetului conduce la mascarea sa.

Există o durată optimă de reverberație ( $T_{optim}$ ), funcție de destinația sălii.

Pentru săli de concerte, valoarea duratei optime de reverberație se poate calcula cu relația :

$$T_{optim} = 0,41 \log \sqrt[3]{V}. \quad (367)$$

În funcție de tipul sălii, volumul sălii,  $T_{optim}$  poate fi cuprinsă între 1,2 și 2,5 s, fig.196. În funcție de frecvență, durata de reverberație este cuprinsă între 0,8 și 4,6, fig.197.

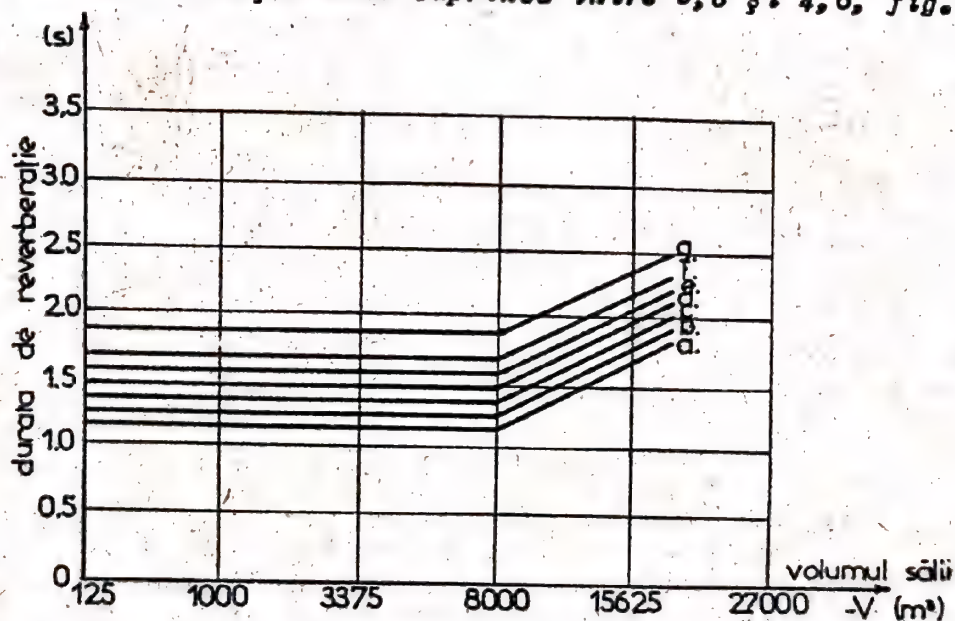


Fig.196. Durata optimă de reverberație în funcție de volumul și destinația sălii.

Dimensionarea constă în luarea în considerare a relației:

$$T_{ef} \approx T_{opt} \quad (368)$$



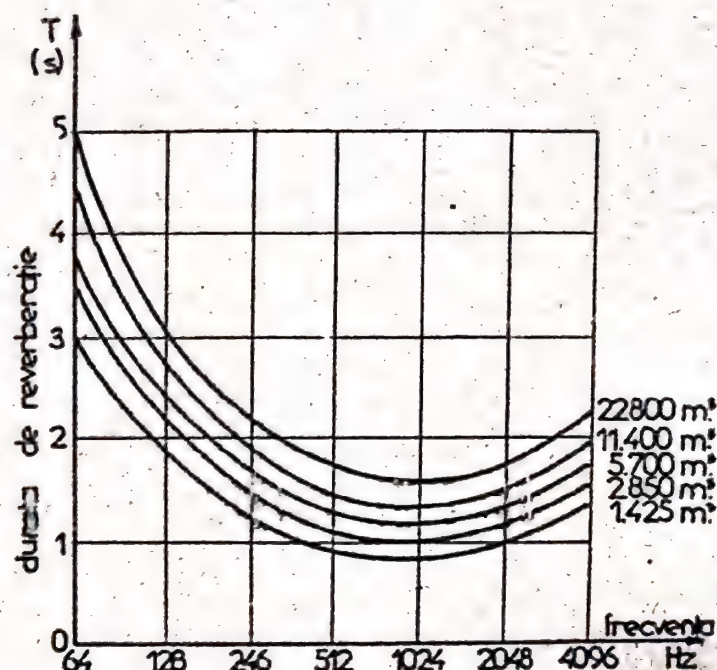


Fig.197. Durata de reverberație în funcție de mărimea sălii și frecvență.

Prin soluția constructivă și prin folosirea absorbantilor este recomandabil a se obține o durată de reverberație care să nu varieze cu frecvența. Condițiile de audiere în săli, funcție de  $T$ , variază astfel:

- $0 < T < 0,5$  s, existența este neplăcută ;
- $0,5 < T < 1$ , audierea în bună măsură ;
- $1 < T < 2$ , neplăcerea și oboseala sînt ambele simțite ;
- $2 < T < 4$ , cîntărețul se simte bine și se ascultă cu plăcere pe el însuși.

Pentru determinarea caracteristicilor acustice ale unei săli se folosește ca sursă de emisie zgomotul complex cu caracteristicile din fig.198, stabilit de Institutul de Fizică al Academiei R.S.România.

În fig.199 se prezintă schema electrică a lanțului electroacustic, care în cazul unei baze de tip logaritmice a analizatorului de frecvență permite ca luînd în considerare atenua-

rea liniară a intensității sonore a sunetului emis în încăpere să se determine timpul în care are loc scăderea cu 60 dB, pentru diferite benzi de frecvență, în domeniul 100...3200 Hz, obținându-se astfel duratele de reverberație respective.

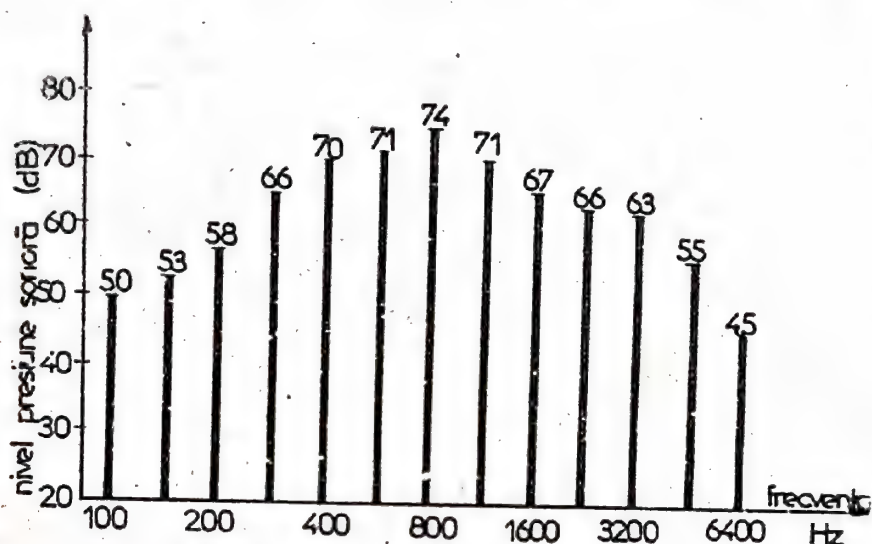


Fig.198. Caracteristicile unui sgomot complex utilizat de Institutul de Fizică al Academiei R.S.R., pentru măsurători acustice.

Scăderea intensității sonore după Sabine are loc liniar, fig.200 a, reflectând diagrama experimentală, fig.200 b, obținută cu ajutorul înregistratorului rapid de nivel.

Alte criterii de calitate privind acustica sălilor sînt:

- inteligibilitatea, prin care se apreciază calitățile acustice ale sălilor destinate producției vorbite și se exprimă prin procentul de articulație PA care este definit de procentul de logatomi corect înțeleși ;

- difuzivitate, prin care se apreciază omogenitatea și izotropia câmpului sonor.



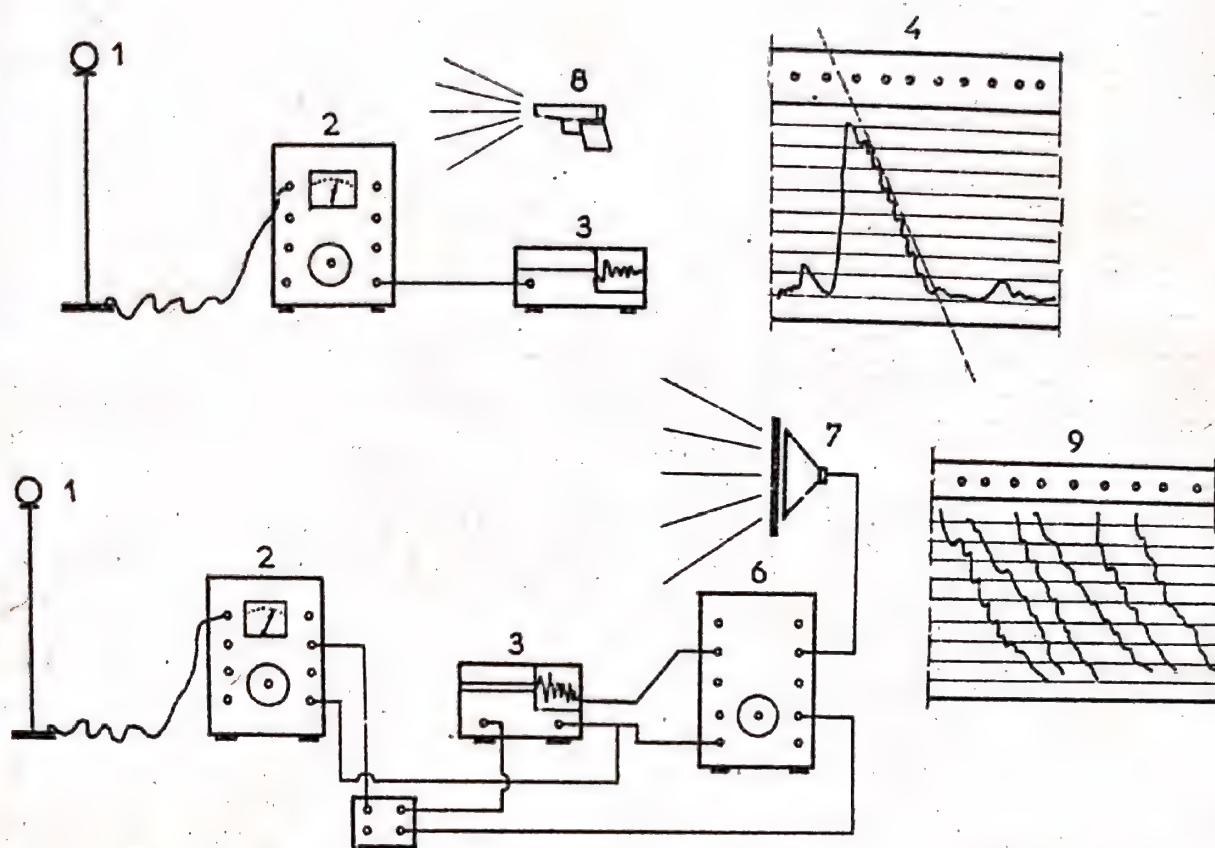


Fig.199. Schema instalației electroacustice pentru determinarea duratei de reverberație: a - schema cu sursa de zgomot prin împușcătură; b - schema cu difuzor cu sursă de zgomot; 1 - microfon; 2-analizator de zgomot; 3 -înregistrator rapid de nivel; 4 - bandă cu înregistrarea fenomenului de reverberație; 5-comutator de reverberație; 6 -generator de sunet vocalizat; 7 - difuzor; 8 - pistol cu gloanțe oarbe, 9 - bandă cu înregistrarea fenomenului de reverberație în benzi de 1/3 octavă.

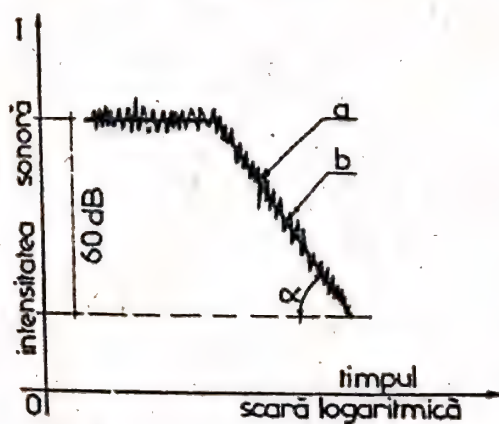


Fig.200. Scăderea intensității sunetului în încăperi reverberante.

- a) analitic după Sabine ;  
b) experimental prin înregistrare la hipsograf.

## 10.2. Principii de proiectare acustică a sălilor.

Volumul sălilor se determină în funcție de numărul audienților și destinație, astfel:

- la săli de muzică,  $5 \dots 7 \text{ m}^3 / \text{spectator}$  și  $V < 30.000 \text{ m}^3$ ;
- la săli de conferințe, auditorii,  $3 \dots 5 \text{ m}^3 / \text{auditor}$  și  $V < 30.000 \text{ m}^3$ ;
- la săli de cinematograf,  $2,5 \dots 3,5 \text{ m}^3 / \text{spectator}$ ;

La sălile la care reverberația depinde de absorbția dată de spectatori și în mai mică măsură de tratamentele acustice, volumul necesar pentru un spectator, exprimat în  $\text{m}^3$ , în funcție de  $T$ , exprimat în secunde, este:

$$v = 3T \quad (369)$$

Volumul total al sălii rezultă:

$$V = N \cdot v \quad (370)$$

în care:

- $N$ , numărul de spectatori.

La studiul acustic al sălilor mari este necesar să se ia în considerație următorii factori:

- dimensiunile sălii;
- forma generală a sălii;
- forma suprafețelor elementelor de construcție;
- mărimea suprafețelor;
- natura suprafețelor;
- volumul sălii;
- gradul de ocupare a sălii;
- natura finisajelor și a îmbrăcămintelor interioare absorbante.



Calitatea acustică a unei săli depinde de frecvențele proprii ale acestora, de fenomenul de rezonanță, funcție de caracteristicile de frecvență proprii,  $f_1, f_2$ , fig.201.

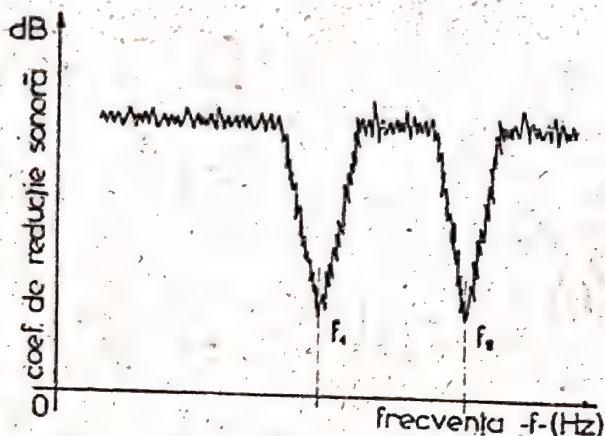


Fig.201. Frecvențe de rezonanță ale unei săli.

Frecvențele proprii și undele staționare, care se formează într-o încăpșare, influențează modul de amortizare al sunetului și dau efecte supărătoare ce pot fi eliminate printr-o alegere judicioasă a dimensiunilor sălilor și evitarea paralelismului pereților longitudinali, a tavanului și pardoselii.

Între dimensiunile unei săli se recomandă raporturile indicate în cele ce urmează:

Tipul încăperii	Înălțime	Lățime	Lungime
- mică	1	1,25	1,6
- medie	1	1,6	2,5
- cu tavanul jos	1	3,5	3,2
- lungă	1	1,25	3,2

Lungimea maximă a sălilor se recomandă :

18 m pentru săli de conferințe ;

22 m pentru săli de teatru ;

35 m pentru săli de concert.

Forma de plan recomandabilă este cea dreptunghiulară sau trapezoidală, fig.202.

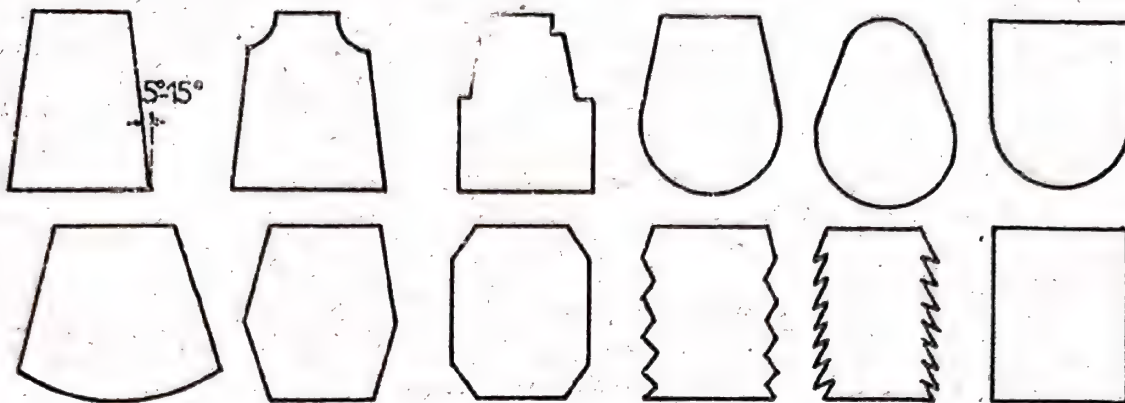


Fig.202. Forme în plan a sălilor.

La pereți laterali se admit înclinări ce variază între  $5^\circ$  și  $15^\circ$ .

Defectele acustice ale formei plane rectangulare pot fi corectate prin curbarea pereților laterali pe porțiunile din imediata apropiere a sursei sonore, fig.203.

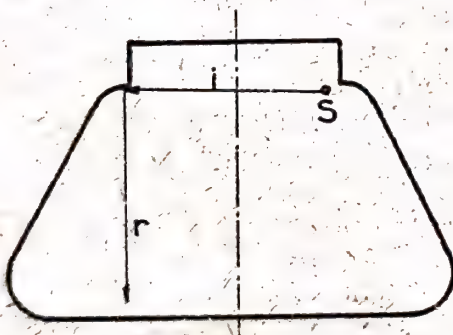


Fig.203. Curba pereților laterali

Formele curbe cu convexitate îndreptată spre interiorul sălii sînt avantajoase în ceea ce privește dispersarea cîmpului sonor.

Secțiunile transversale cu concavitățile îndreptate spre sală sînt periculoase datorită concentrărilor de sunet pe care le produc.

La săli mari este indicat să se evite paralelismul între tavan și pardoseală prin realizarea unor suprafețe dințate, fig.204, avînd în vedere ca  $\ell > \lambda$ ,  $\theta \geq 5^\circ$  (fig.205).



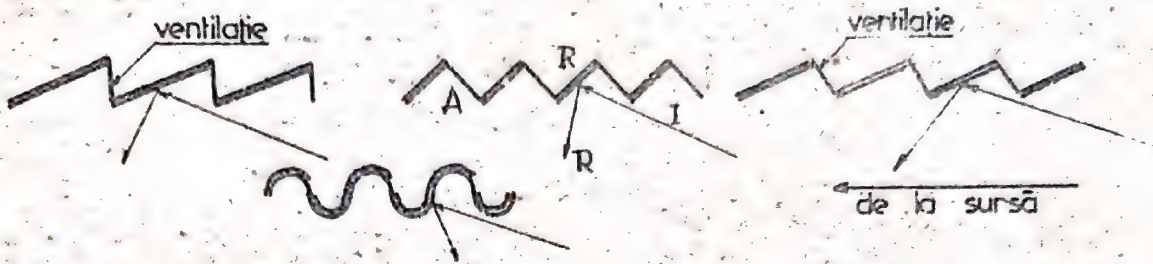


Fig. 204. Forme ale tavanului sălilor.

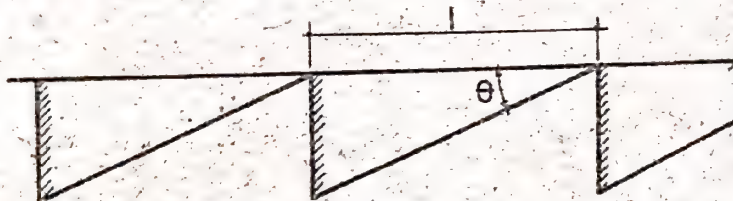


Fig. 205. Profilul tavanului.

Pătrunderea lojelor în sală este limitată pentru a nu stînjeni audiența sub consola acestora, fig. 206.

Se constată în aceste cazuri slăbirea intensității sonore sub balcon, conform relației:

$$\Delta L = 20 \log \frac{1 - K}{2K} \quad (371)$$

în care  $K$  este raportul între înălțimea balconului, avînd valori între 2 și 6 ceea ce determină scăderi ale

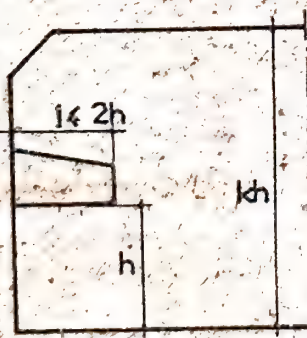


Fig. 206. Deschiderea nivelului  $\Delta L$  între 0,5 și 3,2 dB, țînîndu-se de înălțimea optimă a lojelor.

Tabelul 19

Scăderea  $\Delta L$  sub balcoane în funcție de  $K$

Valorile coeficientului $K =$	2	3	4	5	6
Scăderea de nivel acustic, $\Delta B, \Delta L =$	0,5	1,25	2	2,6	3,2

Micșorarea intensității sonore este mai mare dacă înălțimea balconului scade. Scăderea energiei sonore este mai intensă spre partea de fund a balconului, conform unei legi exponențiale:

$$\Delta W = e^{-a\ell} \cdot W \quad (372)$$

Micșorarea nivelului de intensitate sonoră este dată de relația :

$$\Delta L = 10 \log e^{a\ell} \quad (373)$$

în care: 
$$a = \frac{\sum \alpha_i \cdot S_i}{h + \sum S_i} \quad (374)$$

Pentru ca slăbirea intensității sunetului sub balcon să fie sub 3 dB, se recomandă  $K < 3$  și  $\ell \leq 2h$ .

Fundul balconului și suprafața verticală a grinzii de balcon se recomandă a fi tratate fonoabsorbant, fig.207.

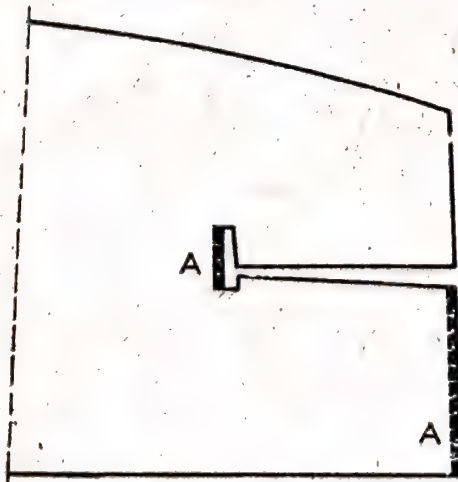


Fig.207. Tratarea cu material absorbant A, a fundului balconului și a grinzii de balcon.

Pentru a se asigura buna audibilitate la balcon este necesar să se asigure dirijarea fluxului sonor folosind suprafețe reflectate înclinate, fig.208.

În vederea obținerii unui câmp difuz în sală, se pot adopta soluțiile de pereți laterali indicate în fig.209.



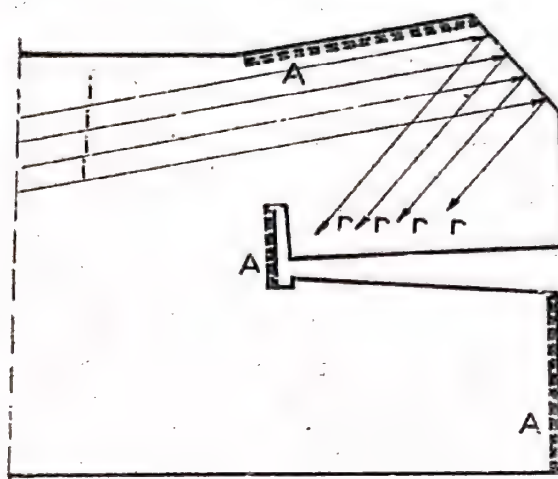


Fig.208. Dirijarea fluxului sonor  
la balcon.



Fig.209. Inclinarea pereților longitudinali

Pentru a asigura pătrunderea undelor sonore directe la spectatori este indicată supraînălțarea fotoliilor față de pardoseală.

La sălile de concert panta pardoselii se va lua cel puțin  $8^\circ$ , la săli de conferințe cel puțin  $15^\circ$ .

Determinarea precisă a înclinării pardoselii este legată și de vizibilitatea și de ușurința evacuării sălii în caz de incendiu. Profilul pardoselii poate fi o spirală logaritmică, fig.210.

$$r = r_0 \cdot e^{\varphi_0 \cdot \tan \theta} \quad (375)$$

Panta pardoselii se poate determina cu ajutorul unei relații de recurență :

$$h_n = H_{n-1} + h - \frac{r(H-h_{n-1})}{s + (n-1)r} \quad (376)$$

în care; (fig.211)

$$s = \frac{r}{h} \cdot H + r \quad (377)$$



Fig.210. Profilul logaritm al pardoselii sălilor de spectacole.

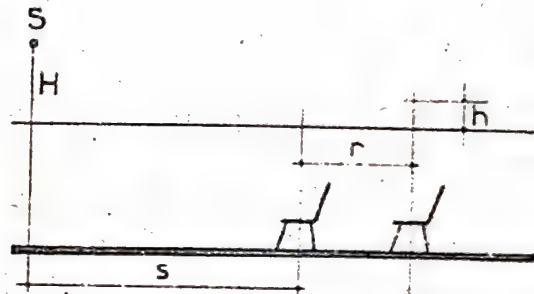


Fig.211. Supraînălțarea scaunelor în rânduri.

- $H$ , înălțimea sursei sonore deasupra capetelor primului rând de spectatori ;
- $h$ , înălțimea liberă, care se ia 12 cm dacă fotoliile sînt spate în spate și de 8 cm dacă fotoliile sînt decalate ;
- $r$ , distanța dintre două rânduri de fotolii adiacente (obișnuit 0,90 m) ;
- $s$ , distanța, măsurată pe orizontală, dintre sursă și primul rând de fotolii.

Pentru a mări difuzivitatea câmpului sonor al sălii se pot folosi structuri și forme curbe ale pereților laterali, fig.212.

La săli de formă dreptunghiulară, cu lățimea de ordinul 20 m, se poate produce ecoul pentru primele rânduri în urma reflexiei datorită pereților laterali, fig.213.



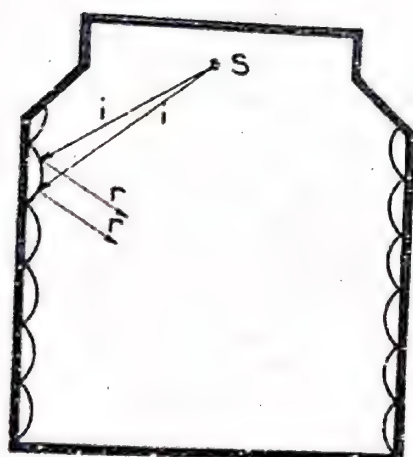


Fig. 212. Suprafețe curbe reflectante aplicate pe pereți laterali.

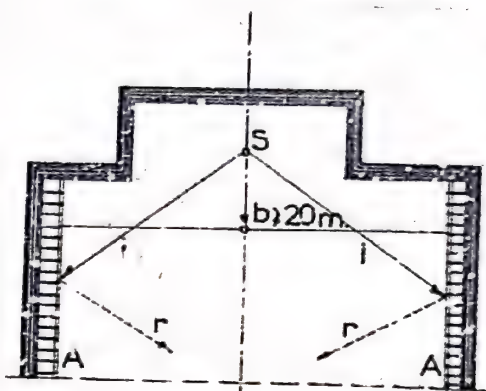


Fig. 213. Evitarea reflexiei sunetului pe pereții laterali.  
A - absorbant acustic.

La calculul absorbției totale acustice a sălilor, în vederea determinării timpului real de reverberație, se au în vedere următoarele :

- absorbția spectatorilor, variază de la 0,33 pentru frecvențe joase la 0,46 pentru frecvențe înalte, de spectator ;
- materialele absorbante prezintă caracteristici diferite în funcție de structura lor fizică, greutatea specifică aparentă, greutatea pe  $m^2$ , concepția constructivă a structurii fonoabsorbante și frecvența sunetelor.

Absorbantul se distribuie neuniform pe pereți (fig. 214) în vederea/asigurării difuzivității cîmpului sonor, iar tavanul se soluționează reflectant, în raport cu elementele determinate pe baza studiului geometrico-statistic al sălii.

O altă soluție privind realizarea unei difuzivități maxime a cîmpului sonor constă în crearea unor suprafețe convexe policoilindrice în profilul pereților.

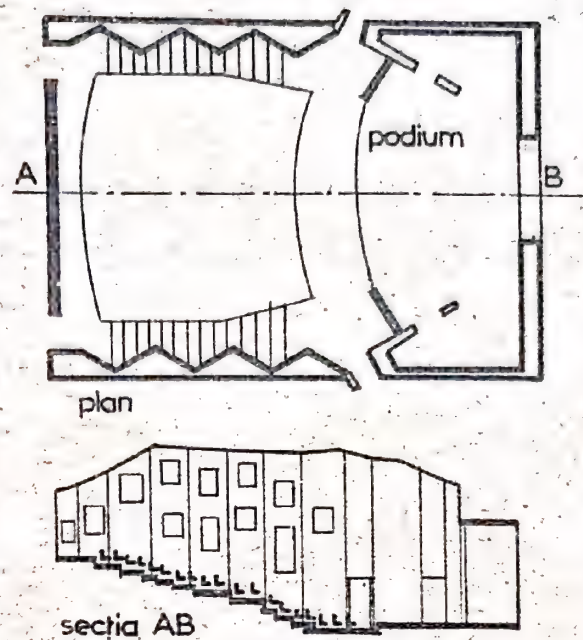


Fig. 214. Repartizarea absorbantului fonic pe pereții longitudinali.

### 10.3. Structuri fonoabsorbante.

La alegerea materialelor și structurilor absorbante acustice se are în vedere valoarea globală a coeficientului  $\alpha$ , variația absorbției cu frecvența sunetelor, fig. 215 și influența alcătuirii constructive a structurii fonoabsorbante asupra amortizării sunetelor.

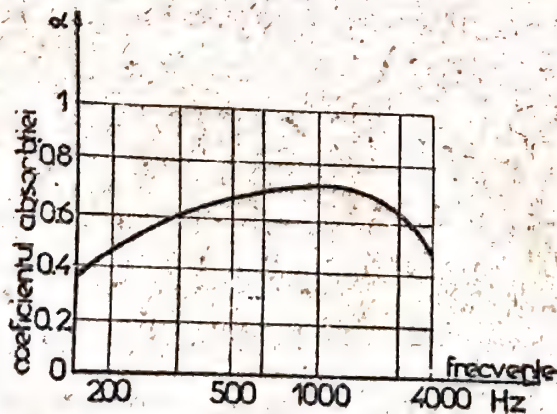


Fig. 215. Coeficientul  $\alpha$  pentru plăci fibroscemoase.



La alegerea structurii fonoabsorbante a tratamentului acustic se are în vedere faptul că sunetele joase sînt la fel de dificil absorbite ca și sunetele înalte. Materialele absorbante adoptate trebuie să nu fie strivite de vibrații, să nu permită depuneri de praf și să fie incombustibile.

În aprecierea calităților materialelor fonoabsorbante prezintă de asemenea interes cunoașterea greutateii specifice aparente, rezistența mecanică statică, durata de utilizare, posibilitatea de spălare, de pictare și de dezinfecție.

Determinarea coeficientului de absorbție  $\alpha$  în laborator se face cu precizie de 2,5%, cu ajutorul tuburilor sonore Kundt, precum și prin determinarea duratei de reverberație în camere de reverberație sau încăperi experimentale cu tratamente fonoabsorbante din materialele alese cu o suprafață de cel puțin  $10 \text{ m}^2$ , obținîndu-se valori ale absorbției diferite cu + 40% față de valoarea reală.

Absorbanții folosiți în construcții se pot clasifica astfel:

- absorbanți poroși cu schelet rigid ;
- absorbanți poroși cu schelet flexibil ;
- absorbanți de tipul rezonatorilor Helmholtz ;
- plăci fonoabsorbante perforate ;
- membrane vibrante.

Absorbanții poroși cu scheletul rigid sînt alcătuiți din materiale ale căror pori nu suferă deformații sub acțiunea undelor sonore. În această categorie intră tencuielile poroase, plăcile din vată minerală, fibre vegetale sau minerale rigidizate cu liant.

Absorbția sunetelor la aceste materiale se datorește frecării particulelor de aer între ele și cu pereții porilor. Cu

aceste materiale se poate crea un strat poros la suprafața ortocăruî perete. Energia sonoră este absorbită, transformată în căldură și împrăștiată în atmosferă. Gradul de absorbție depinde și de grosimea stratului. La Fabrica Berceni din țara noastră se fabrică plăci fonoabsorbante din vată minerală de 60.60.2 cm, cu suprafața netedă, neregulată sau perforată, fig.216 avînd valorile coeficientului  $\alpha$ , astfel:

$$f = 200 \text{ Hz}, \alpha = 0,10$$

$$f = 400 \text{ Hz}, \alpha = 0,45$$

$$f = 800 \text{ Hz}, \alpha = 0,9$$

$$f = 1600 \text{ Hz}, \alpha = 1,1$$

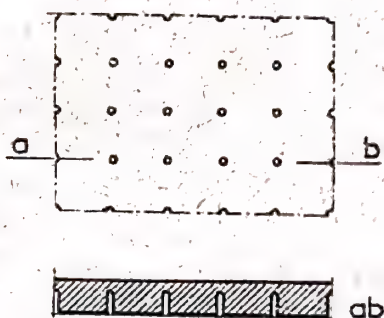


Fig.216. Plăci fonoabsorbante perforate.

Dintre tipurile de tencuieli absorbante se menționează tencuielile pe bază de ipsos granulat, a căror acțiune absorbantă crește cu grosimea stratului.

Montarea materialelor poroase pe schelete rigide, distanțate de un perete masiv, îmbunătățește absorbția acustică pentru frecvențele joase.

Absorbanții poroși cu schelet flexibil sînt alcătuiți din materiale moi ca vata de sticlă, vata de zgură, pîsla, masele poroase, saltele, draperii, co-

voare. Coeficientul de absorbție prezintă valori între 0,53 și 0,95, depinde de grosime (1.10 cm), greutate și frecvență fig.217.

În țara noastră se pot folosi plăci din vată minerală tratată cu rășină sintetică, avînd  $\ell = 1,20 \text{ m}$  ;  $b = 66 \text{ cm}$ ,

$\delta = 1 - 10 \text{ cm}$ ,  $\delta = 50...60 \text{ Kg/m}^3$  sau fișii din vată minerală pe suport de hîrtie cu  $\ell = 3...5 \text{ m}$  ,  $b = 1,20 \text{ m}$ ,  $\delta = 20...160 \text{ Kg/m}^3$  și coeficient de absorbție acustică  $\alpha = 0,8...1$ , la 5 cm grosime și  $f = 200 \text{ Hz}$ .



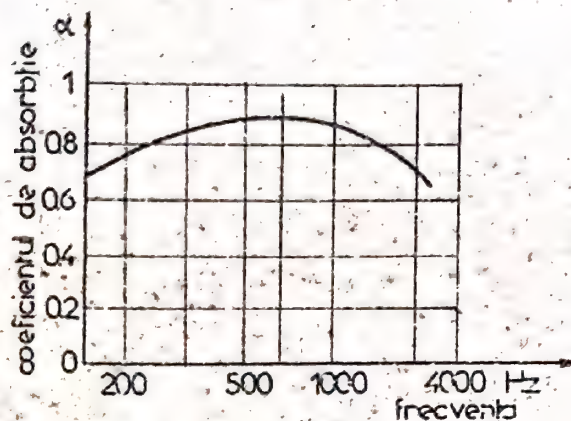


Fig. 217. Coeficientul  $\alpha$  de absorbție la materiale moi.

Se montează sub formă de saltele fixate cu rețele metalice ce se acoperă cu stoffe decorative, plăci de fibrociment sau plăci de ipsos, perforate.

Absorbanții de tipul rezonatorilor Helmholtz au fost folosiți încă în acustica greacă și română ca un mijloc de a produce artificial reverberația în aer liber.

Vitruvius arată că rezonatorii erau așezați sub scaunsele spectatorilor, după ce se acordau pe diferite frecvențe.

În principiu, un rezonator constă dintr-o cavitate situată într-un perete rigid, legată cu exteriorul printr-un canal sau cheson acustic de lemn rigid, fixat de tavan, fig. 218.

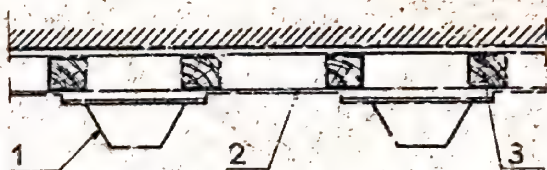


Fig. 218. Rezonator Helmholtz.

1-cheson acustic; 2-placă de absorbție;  
3-grinzi auxiliare

Plafonul fonoabsorbant se mai poate realiza din cavități de dimensiuni diferite prevăzute în beton sau din blocuri cu găuri perforate, ce leagă cavitatea de exterior în zidărie, fig. 219, dimensionate la diferite frecvențe.

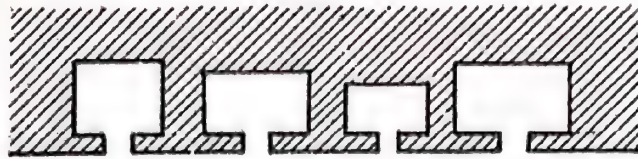


Fig. 219. Rezonatori din blocuri  
cu găuri perforate.

Frecvența de rezonanță se calculează cu relația:

$$f_{\text{rez}} = 5500 \cdot \frac{S}{(v \cdot V)^{\frac{1}{3}}} \quad (373)$$

în care:

- $V$ , volumul nișei în  $\text{cm}^3$ ;
- $v$ , volumul chesonului, în  $\text{cm}^3$ ;
- $S$ , secțiunea transversală, în  $\text{cm}^2$ .

Se pot realiza ușor rezonatori cu  $V = 1 \text{ dm}^3$  având  $\alpha = 0,5 \text{ m}^2$  la frecvențe joase, sub 500 Hz.

La frecvențe înalte gâturile rezonatorilor se formează prin perforarea unor plăci (membrane). În spatele plăcii se prevede un strat de material care lasă să treacă aerul, fig. 220.

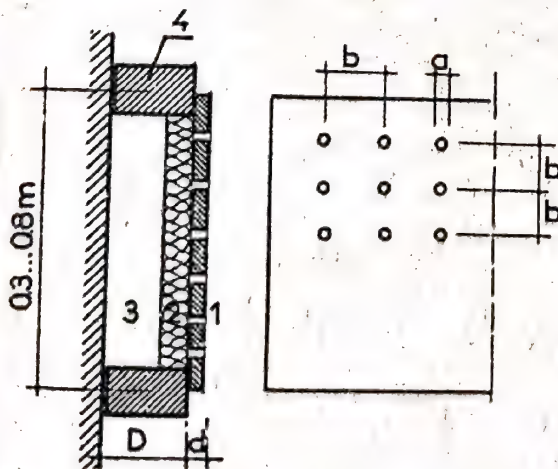


Fig. 220. Plăci perforate  
fonoabsorbante.

- 1- placă perforată; 2- mate-
- rial fonoabsorbant; 3- aer;
- 4 - schelet.



Frecvența de rezonanță se calculează cu relația :

$$f_{rez} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{d_{ef} \cdot D}} \quad (378)$$

în care:

$$d_{ef} = d + \frac{\pi}{4} \cdot a \quad (379)$$

- $d$ , grosimea plăcii în cm ;
- $a$ , diametrul găurii, în cm, maxim 0,5 cm ;
- $D$ , distanța între membrană și perete, în cm ;
- $\varepsilon$ , coeficient de perforație.

Distanța  $b$  între orificii se recomandă a se lua mai mare de 2 cm.

Structurile fonoabsorbante perforate de tip a, fig.221 sînt indicate la micșorarea zgomotului în birouri, structura de tip b, poate fi folosită prin selecționarea frecvențelor de rezonanță, iar structura de tip c, este utilă la corecții acustice ale sălilor. Alegerea plăcii și a modului de fixare, permit să se obțină o serie de efecte și rezultate foarte utile. Folosind toată perforată de aluminiu sau oțel foarte subțire, diametrul găurilor poate coborî la 1,5 mm, obținîndu-se absorbție maximă la frecvențe înalte fig.222.

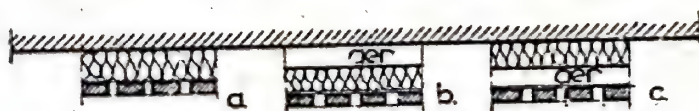


Fig.221. Tipuri de structuri fonoabsorbante perforate



Fig.222. Plăci fonoabsorbante cu toată perforată

La frecvențe joase se pot folosi plăci subțiri și elastice aplicate la câțiva centimetri de perete, fig. 223, care seperate prin stratul de aer față de perete, contribuie la absorbția convenabilă a sunetului. Conform diagramei din fig. 224, absorbția sunetului la membrane elastice descrește o dată cu creșterea frecvenței.

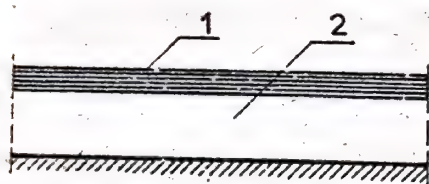


Fig. 223. Membrane elastice fonoabsorbante. 1-placă elastică; 2- aer.

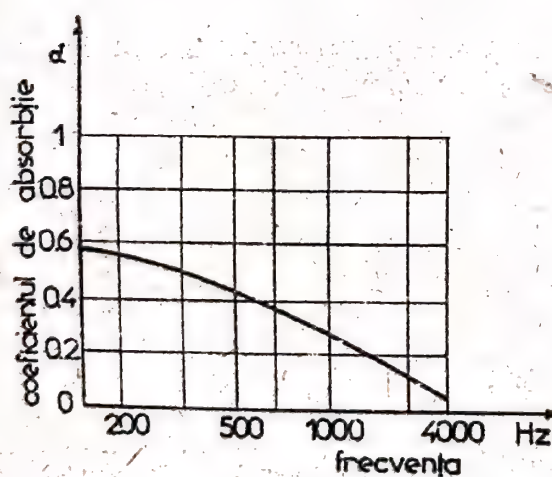


Fig. 224. Variația absorbției sunetului la membrane elastice în funcție de frecvență.

Valorile măsurate experimental sînt cuprinse între

Structurile absorbante, alcătuite din panouri de placaj de 4 mm grosime perforate, cu găuri circulare cu  $d = 3,5$  mm și distanțate între centre cu 12,5 mm, aplicate pe o masă poroasă de 35 mm grosime se folosesc curent la tratamente fonoabsorbante în construcții în țara noastră.

În cadrul Catedrei de construcții de la Institutul Politehnic Iași s-a studiat pe cale experimentală durata de reverberație a sălii Casei de cultură a Consiliului Popular al Județului Bacău. În fig. 225 se prezintă poziția punctelor 1, 2, ..., 6 de emisie pe scenă și a punctelor A, B, ..., L de recepție din sală. În tabelul 20 și graficul din fig. 226, se prezintă valorile medii ale duratei efective de reverberație, pentru domeniul de frecvențe 125...4000 Hz, determinate pe cale



2,0 și 1,05 secunde față de valorile 1,2...1,5 s, calculate de proiectanți cu relația lui Sabine și prezentate în tabelul 21.

Tabelul 20.

Durata de reverberație determinată experimental  
(sala goală) și corectată (sala ocupată)

Frecvența	H <sub>z</sub>	125	250	500	1000	2000	4000
Durata de reverberație experimentală	s	2,18	2,30	2,28	2,33	2,12	1,58
Absorbția determinată	m <sup>2</sup>	301	285	287	281	309	415
Absorbția machetă	m <sup>2</sup>	18	27	50	73	91	114
suplimentară persoane	m <sup>2</sup>	8	-	128	112	95	-
Absorbția totală	m <sup>2</sup>	327	312	465	466	496	529
Durata de reverberație efectivă (corectată)	s	2,00	2,10	1,41	1,40	1,32	1,05
Idem, prevăzută de proiectant	s	1,5	1,26	1,20	1,23	1,30	1,37

Tabelul 21.

Durata de reverberație pentru "Casa de cultură Bacău"  
(Calculul absorbției pe baza relației Sabine)

Suprafață		F r e c u e n Ț a H <sub>z</sub>					
	m <sup>2</sup>	125	250	500	1000	2000	4000
Plafon mozaic	530	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,015</u>	<u>0,016</u>	<u>0,018</u>	<u>0,02</u>
		5,3	5,3	8,0	8,5	9,5	10,6
Pardoseală PVC	530	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,027</u>	<u>0,038</u>	<u>0,038</u>	<u>0,048</u>
		10,6	10,6	14,3	15,9	20,2	25,5
Perete fundală-placaj	86	<u>0,51</u>	<u>0,37</u>	<u>0,21</u>	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	<u>0,11</u>
		44	31,8	18	8,6	8,6	9,4

Continuare tabelul 21

Suprafață $S$	F r e c u e n ță Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Perete fără placaj 105	0,51 53,3	0,37 39	0,21 22	0,10 10,5	0,10 10,5	0,11 11,6
Perete late- ral-placaj 392	0,51 200	0,37 145	0,21 84	0,10 39	0,10 39	0,11 43

Diferențele între valorile experimentale medii ale duratei de reverberație față de valorile calculate de proiectant, se explică prin aceea că determinările experimentale s-au făcut cu sala goală (curba 1), iar valorile antecalculat de proiectant, pentru sala ocupată.



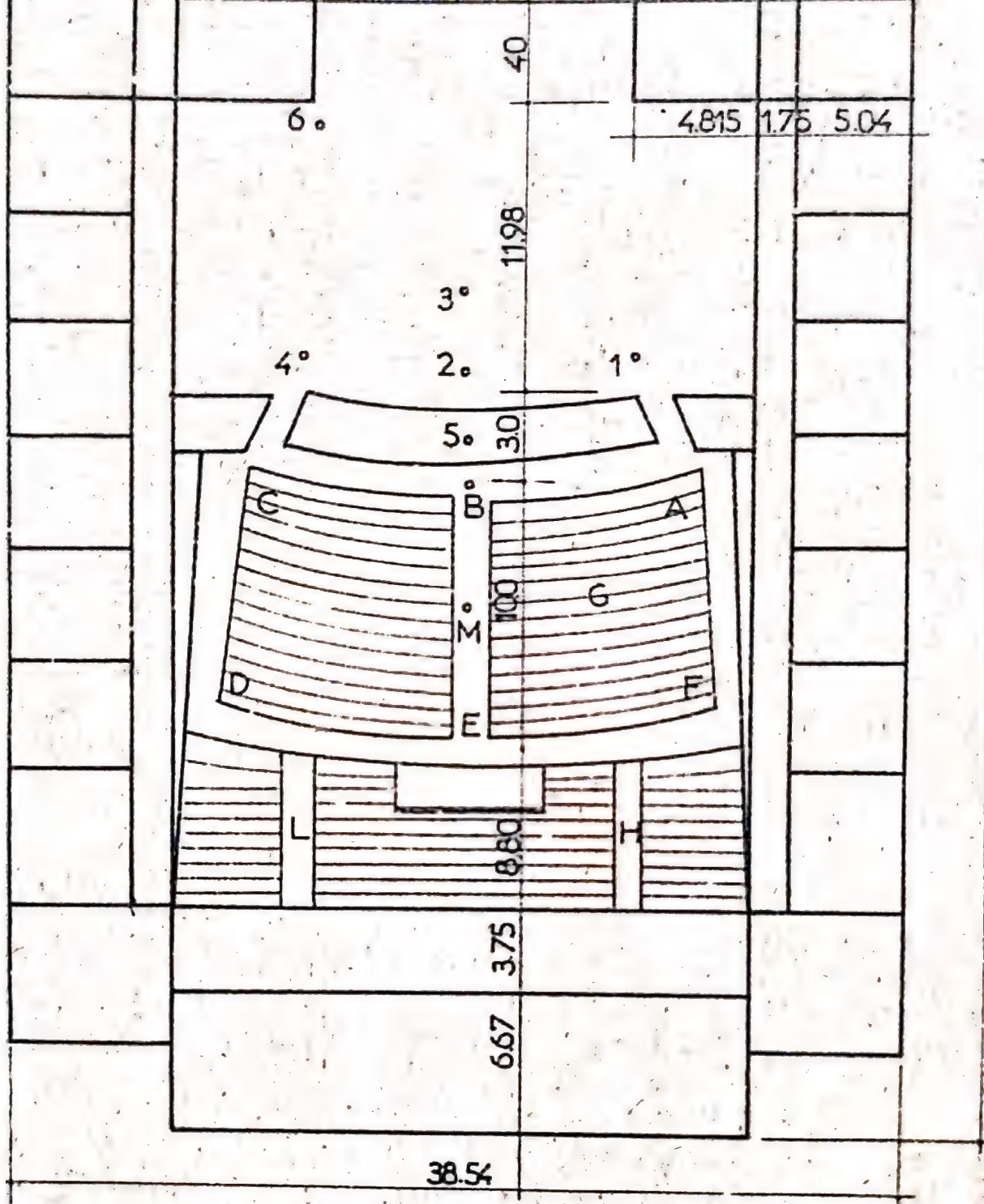


Fig.225. Determinarea experimentală a duratei de reverberație la Casa de Cultură din Bacău. Poziția punctelor de emisie și recepție din sală.

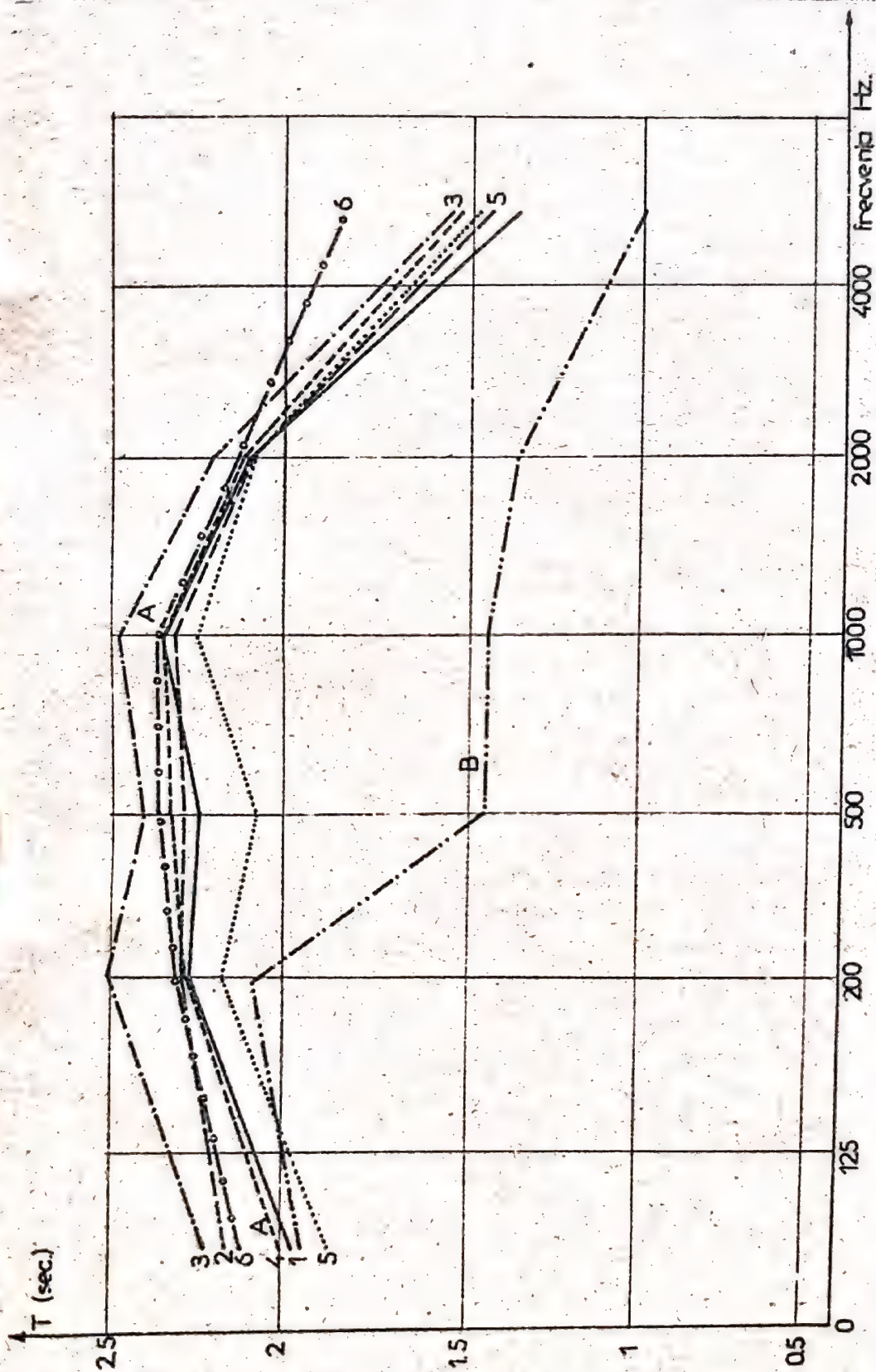


Fig. 226. Durata medie de reverberație a sălilor. Curbe experimentale

A (sala goală). Curba calculată B (sala ocupată).



## 11. Similitudinea și modelarea în acustică.

### 11.1. Considerații teoretice.

Pentru studierea în laborator a fenomenelor acustice din construcții este posibilă folosirea modelelor bazate pe legile analogiei și similitudinii. Modelarea acustică se poate referi la procesele de propagare a zgomotelor (modelarea încăperilor, a tratamentelor fonoabsorbante) și a surselor de sunet sau zgomot (zgomote aerodinamice, mecanice...). Ecuația diferențială a timpului acustic, în aer sau lichid, se prezintă sub forma :

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \quad (380)$$

în care:

- $\varphi$ , funcția potențial de viteză, în  $m^2/s$  ;
- $c$ , viteza sunetului, în  $m/s$  ;
- $t$ , timpul, în  $s$  ;
- $x, y, z$ , coordonate spațiale ;

Condițiile de univocitate ale ecuației cinematice (380) care cuprinde două mărimi cu dimensiuni independente (viteza, spațiul), se referă la :

- caracterizarea spațiului, în care se studiază procesul acustic;
- mărimea vitezei;
- condițiile limită ;
- condițiile inițiale.

Condițiile la limită se referă la suprafața corpului sonor, suprafața receptoarelor de sunet și se prescriu ca valori ale componentei normale a vitezei de oscilație  $v_n$  sau a presiunii acustice variabile  $p$  sau a relațiilor complexe  $Z = \frac{p}{v_n}$ , a

impedanțelor pe suprafețele de absorbție și radiației, care depind de frecvență și unghiul de incidență a sunetului. Dacă drept scări ale vitezei și dimensiunile liniare se adoptă viteza sunetului  $c$  și lungimea de undă  $\lambda$ , ecuația cimpului acustic, sub forma adimensională se prezintă astfel:

$$\frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{t}^2} = \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial \bar{z}^2} \quad (381)$$

în care:

-  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ , coordonatele adimensionale, definite de relațiile :

$$\bar{x} = \frac{x}{\lambda}, \quad \bar{y} = \frac{y}{\lambda}, \quad \bar{z} = \frac{z}{\lambda} \quad (382)$$

$\bar{\varphi}$ , potențialul adimensional, definit de expresia :

$$\bar{\varphi} = \frac{\varphi}{c\lambda} \quad (383)$$

-  $\bar{t}$ , timpul adimensional, exprimat de relația :

$$\bar{t} = \frac{t c}{\lambda} = t \cdot f \quad (384)$$

-  $f$ , frecvența sunetului.

Prestunea acustică adimensională  $\bar{p}$ , viteza de oscilație adimensională  $\bar{v}$  și impedanța acustică adimensională  $\bar{z}$ , sînt date de expresiile :

$$\bar{p} = \frac{p}{\rho_0 c^2}; \quad \bar{v} = \frac{v}{c}; \quad \bar{z} = \frac{\bar{p}}{\bar{v}} = \frac{p}{v} \cdot \frac{1}{\rho_0 c} = \frac{z}{\rho_0 c} \quad (385)$$

Relațiile de similitudine acustică precizate mai sus permit stabilirea următoarelor principii privind modelarea acustică în construcții:

- respectarea analogiei acustice între original și model, în faza de existență a cimpului sonor ;

- păstrarea raportului dintre dimensiuni și lungimea de undă, în original și model, ceea ce presupune:



$$\frac{l_o}{\lambda_o} = \frac{l_m}{\lambda_m} \text{ sau } \frac{l_o t_o}{c_o} = \frac{l_m t_m}{c_m} \quad (385)$$

Pentru cazul cînd mediul de propagare a sunetului în model și original este același ( de exemplu aerul ),  $c_o = c_m = c$  și relația de mai sus este:

$$\frac{l_o}{l_m} = \frac{f_m}{f_o} \quad (387)$$

adică frecvența în model este invers proporțională cu dimensiunile modelului. Respectarea acestei condiții implică deci ca în model să fie folosite în anumite cazuri ultrasunete pentru cercetarea proceselor acustice din construcții, ceea ce este condiționat de aparatura de emisie, recepție și analiză spectrală adecuată.

Un al treilea principiu ce trebuie respectat în modelarea acustică rezultă din condiția ca la frecvențe similare între original și model, trebuie ca impedanțele acustice ale suprafețelor limită csemănătoare să fie identice :

$$\bar{Z}_o = \bar{Z}_m, \text{ adică } f_m = \frac{l_o c_m}{l_m c_o} f_o \quad (388)$$

## 11.2. Realizarea modelelor în acustică.

Pentru cercetarea mărimilor acustice caracteristice unor auditorii, săli, înainte de execuție, se folosesc modele, deseori dificil de executat și costisitoare, permițînd a se obține aspecte mai mult calitative decît cantitative privind acustica sălilor. După caracteristicile în spațiu modelele pot fi spațiale și plane. Modelale spațiale admit clasificarea:

- modele optice, utile pentru cercetări ale propagării frontului de undă a difuzivității și a distribuției energiei sonore în partea utilă și perturbatoare ;

- modele ultrasonore (ultraacustice) pentru cercetarea fenomenelor de ecran și a difuzivității spațiale ;

- modele electromagnetice pentru cercetarea modurilor proprii de vibrație ale sălii.

Modelele plane pot fi:

- modele optice pentru urmărirea mersului undelor;

- modele cu impuls acustic pentru studierea unor aspecte particulare ale reflexiei și difracției pe conturul sălii ;

- modele în cuvă cu apă pentru cercetări generale.

La toate modelele este de dorit ca scara modelului să fie corespunzătoare micșorării lungimii de undă, care este funcție de modul de excitație sonoră a spațiului.

La modelele optice lungimea undei acustice este de cca.  $10^5 \dots 10^7$  ori mai mare ca lungimea undelor luminoase vizibile ceea ce conduce la scădi de ordinul 1:50. Procedul constă în urmărirea traiectoriei razelor luminoase într-o secțiune oarecare, emițând un fascicul luminos îngust și urmărind reflexiile acestuia pe conturul reflectant sau absorbant. Suprafețele reflectante acustic se realizează în model din straturi metalice reflectante și se măsoară gradul de înnegrire a hirtiei fotografice, dispusă în locul scaunelor care va fi funcție de energia reflectată. Difuzivitatea sonoră în model se poate studia cu ajutorul unui cub cu două orificii diametral opuse având în interior o hirtie fotosensibilă pe ambele părți. Dacă modelul este rotit în diferite direcții, gradul de înnegrire al hirtiei indică incidența razelor din direcțiile respective.

Modelele ultraacustice se realizează la o scară care cu un magnetofon cu viteză mare, de exemplu  $v = 76 \text{ cm/s}$  și reda apoi cu o viteză micșorată la scara modelului. Rezultatele obținute



din model, la frecvențe ultrasonore, sînt identice cu cele la scara reală pentru frecvențele obișnuite. Cu aceste modele se studiază problemele de difuzivitate și de ecou în săli și deci caracteristicile de reverberație.

Folosirea unor modele la scara 1:10 permite vizualizarea directă a arhitecturii interioare a sălilor. Utilizarea modelelor ultrasonore este condiționată de aparatură adecvată, (generator, amplificator și analizor de ultrasunete).

Modelele bazate pe impuls sonor implică folosirea unei secțiuni plane ce reprezintă conturul sălii respective executat din material reflectant sau absorbant optic. Declanșînd o scîntăie la locul de emisie, se va putea fotografia un front de undă determinat de frontul undei de șoc. Fotografiera se face foarte rapid, încît succesiv se poate urmări propagarea acestui front de undă ceea ce permite studierea fenomenelor de reflexie și difracție la scara modelului 1:200.

BIBLIOGRAFIE

1. Academia Republicii Socialiste România, Comisia de acustică. Combaterea zgomotelor și vibrațiilor .Vol.I-IV. Referate și comunicări prezentate la a II-a Consfătuire organizată în București, 14 - 16 noiembrie, 1963.
2. BADARAU, E. GRUMAZESCU M. - Bazele acusticii moderne. București. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1961.
3. BRUCKMAYER, F. - Handbuch der Schalltechnik im Hochbau. Schall - Lärm - Erschattungsschutz, Raumakustik. Franz Deuticke, Wien, 1962.
4. BERANEK L.L. - Acoustics. Ed. Mc. Graw Hill, New York, 1954.
5. BERANEK, L.L., PETERSON, G.P.A. - Handbook of noise measurement of vibration, U.S.A. General Radio Company, Massachusetts, 1956.
6. DUNDICI, E.I., CONSTANTINOV V., REUSOVA A.V. - Laboratorii praktikum postroitelnoi fizike ogradatusch konstrukcii zidni Izd. Harkovskogo Universiteta, 1962.
7. EICHLER, F. - Schallschutz im Bauwesen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1959.
8. EICHLER, F. - Schall im Hochbau. Bau und Raumakustik Verlag Technik, Berlin, 1952.
9. FOCSA V., ș.a. - Zum äusseren Lärm pegel und dessen Verminderungsmassnahmen, Bul. I.P. Iași, Tom XIV (XVIII), fasc. 1-2, 1968.
10. FOCSA V., RADU I., - Indrumar pentru lucrări de laborator. Clădiri civile și Construcții industriale.



11. FURRER, F.  
- Raum-und Bauakustik für Architekten, Basel, 1956.
12. GRUMAZESCU M., STAN, A., WEGNER, N., MARINESCU V. - Combaterea zgomotelor și vibrațiilor, București Editura tehnică 1964.
13. GRUMAZESCU M.  
- Măsurători acustice în construcții. București, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1960.
14. IUDIN, I.A.E.,  
- Izolarea împotriva zgomotelor, traducere din limba rusă, E.T., București, 1968.
15. LEHMAN, R.  
- Le colloque international sur le bruit. Isolation et Revêtements nr.20, 1959.
16. NECSULEA A.  
- Bazele acusticii clădirilor. București, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1960.
17. RAES, C.A.,  
- Isolation sonore et acoustique architecturale, Editions Chiron, Paris, 1964.
18. SLAVIN, I.I.  
- Zgomotul industrial și combaterea lui (traducere din l.rusă). București, Editura tehnică, 1957.
19. WEGENER, N.  
- Elemente de proiectare acustică în construcții. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1960.
20. ZABOROV, V.T.  
- Teoria zvukoizolații ograjdatușcîn konstrukții Gosstroizdat, Moskva, 1962.
21. D.I.N. 4109.  
- 4109. Schallschutz im Hochbau.
22. D.I.N. 52.210.  
- Luftschalldämmung und Trittschallstärke, Bestimmung am Bauelement und im Laboratorium.
23. I.S.O./R 131  
- Exprimarea intensității fizice și subiective a unui sunet sau a unui zgomot. Standardizarea nr.5/61.
24. I.S.O./R 140  
- Măsurarea la fața locului și în laborator a transmisiei sunetelor, zgomote-

lor aeriene, a zgomotelor de șoc.  
„Standardizarea”, nr.8, 1961.

25. STAS 1957 - 60

- Acustica. Terminologie, simboluri  
și unități de măsură.

26. STAS 6156-68

- Acustica în construcții. Protec-  
ția zgomotului în clădiri civile.

27. STAS 6161-60,

- Metode pentru măsurarea zgomotu-  
lui în construcții civile.

28. STAS 6691-63

- Metode pentru măsurarea duratei  
de reverberație.

29. STAS 6451-61

- Exprimarea mărimii fizice și a  
mărimii fiziologice a sunetelor  
și a zgomotelor.

30. STAS 7150-60

- Metode pentru măsurarea zgomotu-  
lui în industrie.



## TABLA DE MATERII

### Cap. I. HIGROTHERMICA

	<u>Pag.</u>
Introducerea.....	5
A. Cerințele fiziologice ale omului și confortul termic la clădiri.....	5
B. Transmisia căldurii.....	8
1. Generalități.....	8
1.1. Modurile de transmisie a căldurii.....	9
1.1.1. Transmisia căldurii prin conducție. Coeficientul de conductivitate termică a materialelor de construcție.....	10
1.1.2. Transmisia căldurii în regim staționar	20
1.1.3. Permeabilitatea termică și rezistența la permeabilitatea termică a elementelor de construcție.....	23
1.2. Transmisia căldurii prin convecție.....	24
1.3. Transmisia căldurii prin radiație.....	26
1.4. Transmisia căldurii prin convecție și radiație. Coeficienții de schimb superficial.	28
1.5. Transmisia căldurii prin elemente de construcții în structuri.	
1.5.1. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele.....	29
1.5.2. Rezistența termică a straturilor de aer la pereți.....	31
1.5.3. Transmisia termică totală a căldurii, prin conducție și convecție.....	33
1.5.4. Coeficientul de transmisie termică și	

1.4. Măsurarea umidității în construcții.....	104
1.4.1. Măsurarea umidității aerului.....	104
1.4.2. Măsurarea umidității materialelor și elementelor de construcție.....	105
a) Metode distructive.....	105
b) Metode nedistructive.....	106
1.5. Condensarea vaporilor de apă în construc- ții.....	108
2. Calculul la umiditate al construcțiilor...	109
2.1. Rezistența la permeabilitatea la vapor a elementelor de construcție în regim sta- ționar.....	109
2.2. Calculul la condens pe suprafața interioa- ră a elementelor de construcție.....	114
2.3. Calculul condensului în interiorul ele- mentelor de construcție.....	116
2.4. Procesul de umezire și uscare a elemente- lor de construcție în regim nestaționar..	121
D. Schimbul de aer în construcții.....	125
1. Generalități.....	125
1.1. Baza fizică a schimbului de aer din încă- peri.....	127
1.2. Caracteristicile de permeabilitate la aer a elementelor de construcții.....	129
1.3. Calculul permeabilității la aer a construc- țiilor conform prescripțiilor.....	130
1.4. Ventilația naturală a încăperilor.....	132
a) Ventilația naturală datorită porozității materialelor.....	133
b) Ventilația naturală prin deschiderea ferestrelor și ușilor.....	133
c) Ventilația naturală prin neetanșetate pereților și ușilor exterioare ...	133



d) Ventilația încăperilor prin orificii în pereții exteriori.....	134
e) Ventilația naturală prin canale de ventilație	134
<b>B. Caracteristicile higrotermice ale pereților     și acoperișurilor.....</b>	<b>137</b>
1. Caracteristicile higrotermice ale pere- ților.....	137
1.1. Rezistența minimă necesară.....	137
1.2. Influența poziției straturilor de izo- lație termică în pereți, în regim termic staționar.....	141
1.3. Influența poziției straturilor de izo- lație termică, în condiții de regim va- riabil.....	145
1.4. Rezistența termică a pereților la col- țuri.....	147
1.5. Caracteristicile pereților cu punți termice.....	150
1.6. Temperatura și rezistența termică minimă a pereților cu punți.....	155
1.7. Creșterea temperaturii în încăperi datorită radiației solare.....	161
1.8. Stabilitatea termică a încăperilor în condiții de iarnă.....	163
1.9. Stabilitatea termică a elementelor exterioare de construcții în condiții de iarnă.....	164
1.10. Stabilitatea termică a clădirilor în condiții de vară.....	164
1.11. Temperatura încăperilor în condiții de vară cu considerarea amortizării datorită pereți- lor interiori.....	165
1.12. Influența umidității asupra pereților..	167
1.13. Structura optimă a pereților exteriori din	



rezistența termică totală a elementelor de construcție în straturi.....	35
1.6. Pierderi generale ale căldurii în construcții.....	36
1.7. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în straturi cu punți termice.....	39
Integrarea ecuației cîmpului termic.	
Condiții la limită.....	39
1.8. Metode pentru determinarea caracteristicilor termice a elementelor de construcție.....	42
1.8.1. Metode aproximative de calcul.....	44
1.8.2. Rezistența termică minimă în zona punții termice.....	47
1.8.3. Determinarea cîmpului termic plan cu ajutorul diferențelor finite.....	49
1.8.4. Modelarea matematică și instalații analogice electrice.....	52
c) Trecerea căldurii printr-o bară de Cu datorită conducibilității sale termice...	53
b) Filtrarea apei sub presiune printr-un tub cu nisip.....	54
c) Cantitatea de electricitate ce trece printr-un circuit rezistiv.....	54
1.8.5. Metoda analogiilor electrice pentru determinarea cîmpului termic.....	56
1.8.6. Metode experimentale la construcții în exploatare.....	65
1.8.7. Transmisia căldurii prin pereți în condiții de vară.....	68
1.8.8. Transmisia căldurii prin ferestre în con-	



diții de vară.....	75
2. Transmisia căldurii prin conducție în regim nestaționar.....	76
2.1. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcție în regim nestaționar.....	78
2.1.1. Capacitatea de asimilare a căldurii la suprafața elementelor de construcție.....	78
2.1.2. Indicele inerției termice.....	80
2.1.3. Amortizarea oscilațiilor termice.....	81
2.1.4. Deplasarea de fază (defazajul) oscilațiilor termice.....	84
2.2. Calculul transmisiei termice prin conducție, în regim nestaționar, prin diferențe finite.....	84
2.5. Metode analogice electrice pentru regim nestaționar.....	85
3. Dimensionarea termică a elementelor de construcții.....	87
C. Umiditatea construcțiilor.....	92
1. Surse de umiditate în construcții.....	92
1.1. Acțiunea apei asupra materialelor și elementelor de construcție.....	92
1.1.1. Formele de acțiune a apei asupra construcțiilor.....	93
1.2. Umiditatea aerului.....	96
1.3. Umiditatea materialelor de construcții.....	98
1.3.1. Caracteristicile materialelor privind difuzia vaporilor de apă.....	103



punct de vedere al evitării acumulării vaporilor de apă.....	171
1.14. Caracteristicile termice ale pereților în regim nestaționar.....	173
2. Dimensionarea higrotermică a acoperișului..	175
2.1. Rezistența termică necesară a acoperișului..	175
2.2. Rezistența necesară a acoperișului la vaporii de apă și aer.....	179
2.3. Calculul umidității acumulate de acoperiș..	181
2.4. Structura optimă a terasei din punct de vedere al evitării acumulărilor de vaporii de apă..	183
2.5. Aerisirea naturală a acoperișului terasă...	185
2.6. Influența poziției izolației termice în pereți și terase asupra eforturilor din variația de temperatură.....	187
F. Caracteristicile termice ale pardoselilor..	189
G. Exemple de calcul.....	193

## Capitolul II

ACUSTICA CLADIRILOR.....	248
1. Generalități.....	248
2. Noțiuni de acustică.....	250
2.1. Sunetul ca fenomen fizic.....	250
2.1.1. Relația între elongația punctului material ( $x$ ) și distanța ( $s$ ) pe axa de propagare a oscilației sonore.....	256
2.1.2. Viteza de propagare a undei longitudinale sonore într-un mediu elastic.....	257
2.1.3. Caracteristicile de presiune, intensitate și absorbție a sunetelor.....	258
2.2. Sunetul fiziologic.....	272
3. Izolarea fonică contra zgomotelor exterioare.....	280
4. Izolarea acustică necesară la zgomotul aerian.....	287



5. Atenuarea zgomotului aerian prin pereți și planșee pe baza teoriei ecranelor.....	293
6. Atenuarea acustică a elementelor de construcție luând în considerare legăturile de contur.....	297
7. Calculul simplificat și determinarea gradului de izolare fonică efectivă, $D_{ef}$ , la zgomotul aerian.....	299
8. Atenuarea zgomotului aerian prin ferestre și uși.....	309
9. Izolarea fonică la zgomotul de impact.....	317
10. Acustica încăperilor.....	323
10. 1. Fizica sunetului în încăperi.....	323
10. 1. 1. Energia sonoră incidentă și reflectată. Difuzivitatea sonoră. Ecou.....	323
10. 1. 2. Durata de reverberație.....	330
10. 2. Principii de proiectare acustică a sălilor.....	339
10. 3. Structuri fonoabsorbante.....	347
11. Similitudinea și modelarea în acustică.....	358
11. 2. Realizarea modelelor în acustică.....	360
BIBLIOGRAFIE .....	363

